

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK YAPILARIN DİNAMİK
DAVRANIŞLARININ GERÇEK ZAMANLI DGPS
YÖNTEMİ İLE ÖN İZLEMESİ İÇİN TEST
PROTOTİPİ

Başar ERALP
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM ve YAPI BİLGİSİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2008

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK YAPILARIN DİNAMİK
DAVRANIŞLARININ GERÇEK ZAMANLI DGPS
YÖNTEMİ İLE ÖN İZLEMESİ İÇİN TEST
PROTOTİPİ

Başar ERALP
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM ve YAPI BİLGİSİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. İrfan SAYIM

GEBZE
2008

ÖZET

TEZ BAŞLIĞI: Yüksek yapıların dinamik davranışlarının gerçek zamanlı DGPS yöntemi ile ön izlemesi için test prototipi

TEZ YAZARI: Başar ERALP

Son yıllarda kentleşme ile artan şehir nüfusu beraberinde geniş açıklıklı asma köprü, gökdelen ve kule ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Uzun periyotlu bu yapıların gerçek yapısal özelliklerinin, tasarım değerleri ile karşılaştırılması yapının hizmet ömrü için büyük önem taşımaktadır. Özellikle büyük depremlere maruz kalan ve bu depremler dolayısı ile uzun periyotlu yapılarda oluşabilecek yapısal hasarların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi konularında yapıların deprem esnasında gerçek zamanlı dinamik davranışlarının bilinmesi çok önemlidir.

Son yıllarda gelişen teknoloji ile yapıların gerçek zamanlı izlenebilmesi için yıllardır kullanılan klasik ekipmanların yanında üstünlükleri çok olan GPS (Global Positioning System) yardımı ile yüksek yapıların gerçek zamanlı davranışının izlenmesi mümkün olmuştur.

Ancak bu yöntemin bir prototip üzerinde test edilmeden, inşa edilmiş bir yapı üzerinde izleme yapmak istenen sonuçlar elde edilemediğinde zaman kaybı ve kaynakların verimli kullanılmamasına sebebiyet verebilir. Bu tez çalışmasında gerçek zamanlı DGPS ile izleme metodu mevcut bir yapıya uygulanmadan önce tek serbestlik dereceli bir model üzerinde teknik fizibilitesi yapılmış ve sonuçlar teorik hesap yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

Prototip üzerinde yapılan çalışmaların sonuçları göstermiştir ki DGPS yöntemi ile yüksek yapıların DGPS ile gerçek zamanlı olarak izlenmesi doğru sonuçlar verecektir. Bu sayede özellikle deprem ve rüzgâr gibi dinamik etkilerde, GPS aleti yerleştirilen yapıların yaptığı davranış ile yapısal özelliklerinin doğru olarak belirlenmesi sağlanacaktır.

SUMMARY

THESIS TITLE : Test prototype for monitoring of dynamic behavior of high buildings with real time DGPS method

THESIS AUTHOR: Başar ERALP

In recent years, increases in the city populations due to the urbanization have caused demand for suspended bridges, skyscrapers and towers. Comparison between design parameters and real structural characteristic of these long-period structures is very important for the service life of the structure. Monitoring of real time dynamic behavior of structures during the earthquake in order to evaluate and determine the methods for reinforcement is also very important, especially for the structures affected and damaged by big earthquakes.

With the developments in the technology, in addition to the classical equipments for the real time monitoring of the structures, GPS (Global Positioning System) has been started to use for the real time monitoring of long period structures with higher benefits.

On the other hand, failure on the results of this system on the constructed structure will cause inefficient usage of resources and waste of time without testing this method on the prototype before the implementation of this system. In this thesis, technical feasibility for method of real time monitoring with DGPS has been completed on the single freedom system prototype and results are compared with the theoretical calculation methods.

Results of the studies on the prototype indicate that, that, real time monitoring with DGPS is adequate and successful. According to this, structural characteristics and responses to dynamic affects such as earthquake and wind of the structures which has been installed with GPS for real time monitoring can be identified properly.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince bilgi birikimini, değerli görüş ve tavsiyelerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İrfan SAYIM'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Görüş, öneri ve bilgilerini paylaştığım ve bölümün veri ve olanaklarını kullanmama imkân veren Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Bilgisi Bölüm Başkanı Sayın Doç. Dr. Bülent AKBAŞ'a, fikir ve görüşlerine başvurduğum Araştırma Görevlisi Sayın Hüseyin PEHLİVAN'a, (GYTE Jeodezi Bölümü)'ne, ve birlikte çalıştığım tüm iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca tezim için gerekli aletleri kullandığım TÜBİTAK destekli 106M032 No'lu "Gerçek Zamanlı Kinematik DGPS Yöntemiyle Uzun Periyodlu Yapıların Dinamik Davranışlarının İncelenmesi" projesinde emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Çalışmam süresince manevi desteğini aldığım kardeşime, babama ve sevgili anneme ve hep yanımda hissettiğim Işıl'a çok teşekkür ederim.

Başar ERALP

İstanbul, Ocak 2008

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. YAPILARIN İZLENMESİ	4
2.1 Uzun Periyotlu Yapıların GPS İle İzlenmesi İçin Yapılan Çalışmalar	5
3. GPS (Global Positioning System)	7
3.1 GPS'in Tarihçesi	7
3.2 Sistemin Çalışma Prensibi	8
3.3 GPS Mesafeleme Sinyali	9
3.4 Ölçü Mesafeleme Türleri	10
3.5 Uydu Tasarımı ve Yörünge Konfigürasyonu	11
3.6 GPS Hata Kaynakları	11
3.7 Diferansiyel GPS (DGPS)	14
3.7.1. DGPS'in kategorileri	15
3.7.1.1 Gerçek Zamanlı Kinematik GPS (RTK GPS)	16
4. YAPILARIN TİTREŞİMLERİ	19
4.1 Sistemin Serbestlik Derecesi	20
4.1.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler	20
4.1.2 Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Hareket Denklemi	21
4.2 Serbest Titreşim	22
4.2.1 Sönümsüz Serbest Titreşim	22
4.2.2 Sönümlü Serbest Titreşim	25
4.2.3 Hareket Çeşitleri	26
4.2.4 Hareketin Azalması	28

5. TESTLERİN YAPIM YÖNTEMİ	31
5.1 Prototip	32
5.1 GPS Aletleri ve Diğer Ekipmanlar	33
5.2 Test Çeşitleri	35
6. ARAŞTIRMA BULGULAR	37
6.1 Testlerin Yapılması	40
7. TESTLER İLE TEORİK SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	53
7.1 Teorik Hesaplamalarda Kullanılan Kabuller	53
7.2 Gerçek Titreşim ile Teorik Sönümlü Serbest Titreşimin Karşılaştırmaları	55
8. TARTIŞMA VE SONUÇ	58
9. KAYNAKLAR	60
10. ÖZGEÇMİŞ	62
11.EKLER	63
Ek 1 Toplam 4 adet teste ait GPS Verileri	63
Ek 2 Testlere ait düzenlenmiş Matlab Veri dosyaları	63
Ek 3 Testlerin düzenlenmiş Matlab Grafik dosyaları	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

c	Sönüm katsayısı
c_{cr}	Kritik sönüm katsayısı
E	Elastiklik modülü
f	Sisteme etkiyen kuvvetin frekansı
f_D	Sönüm kuvveti
f_I	Atalet kuvveti
f_n	Sönümsüz doğal frekans
f_S	Elastik ya da elastik ötesi direnç kuvveti
F	Sürtünme kuvveti; Büyütme çarpanı
g	Yerçekimi ivmesi
<i>GPS</i>	Global Positioning System (Küresel Yerbulum Sistemi)
<i>RTK</i>	Gerçek Zamanlı Kinematik
i	Zaman artım sayısı
I	Atalet momenti
k	Rijitlik
m	Kütle
N	Sistemin serbestlik derecesi
P	Sisteme etkiyen dış yük
P_0	$p(t)$ değerinin genliği
t	Zaman değişkeni
t_0	$u(t)$ 'nin maksimum olduğu zaman değeri
T_D	Sönümlü doğal periyot
T_n	Sönümsüz doğal periyot
u	Deplasman; deformasyon
u^t	Toplam deplasman
$u(0)$	Başlangıç deplasman değeri
$\dot{u}(0)$	Başlangıç hız değeri
u_i	i anındaki deplasman
\dot{u}_i	i anındaki hız

\ddot{u}_i	i anındaki ivme
u_0	$u(t)$ 'nin maksimum değeri
w	Ağırlık
Δt	Zaman aralığı
ζ	Sönüm oranı
ω	Zorlayıcı dairesel frekans (rad/s)
ω_D	Sönümlü doğal dairesel frekans (rad/s)
ω_n	Sönümsüz doğal dairesel frekans (rad/s)

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4. 1 Kritik Sönüm Altı Serbest Titreşim Hareket Grafiği	27
4. 2 Kritik Sönüm Altı Serbest Titreşim Hareketi Genlik Azalımı Grafiği	28
4. 3 Logaritmik Azalma Metodu ile Sönüm Oranı Belirlemesi	29
4. 4 Titreşimin Genliğinin %50 Azalması için Gerekli Çevrim Sayısı Grafiği	30
5. 1 Şematik Prototip Düzeneği	31
5. 2 Ağırlık Diskleri	32
5. 3 GPS Antenlerinin Yerleştirildiği 1m Uzunluğunda Platform	33
5. 4 Novatel Marka GPS Alıcısı	34
5. 5 Novatel Marka Anten	34
5. 6 Satel Marka Veri İletim Ekipmanı (Modem)	34
5. 7 Deplasman Verilmiş Test Düzeneği	35
5. 8 Denge Durumunda Test Düzeneği	36
6. 1 Koordinat Eksenleri	37
6. 2 GPS Antenleri Arası Mesafe Grafiği (Test No:1)	38
6. 3 GPS Antenleri Arası Mesafe Grafiği (Test No:2)	39
6. 4 GPS Antenleri Arası Mesafe Grafiği (Test No:3)	39
6. 5 GPS Antenleri Arası Mesafe Grafiği (Test No:4)	40
6. 6 Her Üç Doğrultuda Zaman Hareket Grafiği Test No:1	41
6. 7 1 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Deplasmanı (Test No:1)	42
6. 8. 2 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Deplasmanı (Test No:1)	42
6. 9 1 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Serbest Titreşimi (Test No:1)	43
6. 10 2 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Serbest Titreşimi (Test No:1)	43
6. 11 Her Üç Doğrultuda Zaman Hareket Grafiği Test No:2	44
6. 12 1 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Deplasmanı (Test No:2)	45
6. 13 2 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Deplasmanı (Test No:2)	45
6. 14 1 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Serbest Titreşimi (Test No:2)	46
6. 15 12 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Serbest Titreşimi (Test No:2)	46
6. 16 Her Üç Doğrultuda Zaman Hareket Grafiği Test No:3	47
6. 17 1 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Deplasmanı (Test No:3)	48

6. 18 2 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Deplasmanı (Test No:3)	48
6. 19 1 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Serbest Titreşimi (Test No:3)	49
6. 20 2 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Serbest Titreşimi(Test No:3)	49
6. 21 Her Üç Doğrultuda Zaman Hareket Grafiği Test No:4	50
6. 22 1 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Deplasmanı (Test No:4)	51
6. 23 2 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Deplasmanı (Test No:4)	51
6. 24 1 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Serbest Titreşimi(Test No:4)	52
6. 25 2 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Serbest Titreşimi (Test No:4)	52
7. 1 Gerçek ile Teorik Titreşim Hareketinin Karşılaştırılması (Test No:1)	55
7. 2 Gerçek ile Teorik Titreşim Hareketinin Karşılaştırılması (Test No:2)	56
7. 3 Gerçek ile Teorik Titreşim Hareketinin Karşılaştırılması (Test No:3)	56
7. 4 Gerçek ile Teorik Titreşim Hareketinin Karşılaştırılması (Test No:4)	57

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3. 1 Değişik Yöntemlere göre DGPS Yatay Konum Doğruluk Tablosu	16
6. 1 Standart Sapma Tablosu	38
7. 1 Testlere ait Sönüm Oranı Tablosu	54
7. 2 Testlere ait Periyod ve Frekans Tablosu	54

1. GİRİŞ

Tüm dünyada sanayileşme süreci ile birlikte gelişen kentleşme, şehir nüfusunu günden güne artırmaktadır. Şehir nüfusundaki artış ulaşımı da kapsayan altyapı ve konut ve işyeri ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Altyapı ihtiyaçları için büyük açıklıklı köprüler, kuleler, konut ve işyeri ihtiyaçları için gökdelenler inşa edilmeye başlanmıştır. Uzun periyotlara sahip olan bu yapıların, özellikle deprem ve rüzgâr gibi doğa olaylarına verdiği tepkinin bilinmesi tasarım açısından çok önem taşımaktadır. Bir yapının gerçek dinamik parametrelerinin bilinmesi, yapının belirsizliklerde ve tahminlerde emniyetli tarafta kalmak adına yapının güvenilirliğini artırmak için gereğinden fazla dayanıklı yapma gereksimini azaltacaktır.

Son yıllarda gelişen teknoloji sayesinde inşa edilen bu uzun periyotlu yapıların gerçek yapısal özelliklerinin, tasarım sırasında planlanan veya tasarlanan değerler ile uyumlu sonuçlar verip vermediğinin doğrulamasının yapılmasını mümkün kılmış olmasına rağmen yapıların boyutları ve hizmet durumları, bu çalışmaların yapılmasını güçleştirmektedir. Ayrıca büyük depremlere maruz kalan ve bu depremler dolayısı ile uzun periyotlu yapılarda oluşabilecek az veya çok yapısal hasarların incelenmesi, değerlendirilmesi, tamir edilmesi veya güçlendirilmesi konularında yapıların gerçek zamanlı dinamik davranışlarının bilinmesi çok önemlidir.

Mühendislik yapılarında dinamik davranışın izlenmesi amacıyla yıllarca kullanılan ivmeölçer ve anemometre vb. aletler bu büyük yapılarda çok miktarda kablolama ve bağlantılar gerektirmektedir. Ayrıca yapılara yerleştirilen ivmeölçerler yapının deprem esnasında yapının yer hareketine veya diğer yatay kuvvetlere karşı verdiği ivme değerlerini kayıt altına alarak, yapının genel tepkisi hakkında önemli bilgiler vermesine rağmen yapının gerçekte ne kadar yer değiştirme yaptığını tam olarak verememektedir. İvme ölçerler ile yapılan ölçümlerden deplasman değerlerine ulaşmak için çift entegrasyon yapmak gerekmekte olup bu entegrasyon otomatik olarak yapılmayıp, filtrelerin seçimi ve referans noktası düzeltilmesi ile

kayıtlar sırasında anormal değerler oluşmasında muhakeme yapılarak deplasman değerlerine ulaşılmaktadır.

Yapının yatay kuvvetler altında nispi deplasmanın belirlenmesi, yapının temel tasarım değerlerine ulaşılmasını sağlamaktadır. Teknolojideki değişime paralel olarak uydu navigasyon teknikleri de ilerlemekte ve yeni ölçme ve konum belirleme yöntemleri geliştirilmektedir. Uydu navigasyon sistemleri altyapısı aracılığı ile sürekli ve her hava koşulunda çalışabilen, dinamik platformlara uygun ve yüksek doğruluk temel ölçütlerine sahip, Global Positioning System (GPS) olarak adlandırılan Küresel Yer Belirleme Sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem sayesinde yapıların çeşitli kuvvetlere maruz kaldıklarında yapının dinamik davranışı hakkında bilgi ve yer değiştirme değerleri elde edilebilir. Ancak yapının herhangi bir sürede depreme maruz kalma zamanı belli olmamakla beraber, bir model yapı üzerinde test edilmeden, inşa edilmiş bir yapı üzerinde izleme yapmak pahalı olacağı gibi istenen sonuçlar elde edilemediğinde zaman kaybı ve kaynakların verimli kullanılmamasına sebebiyet verebilir. Bu nedenle böyle bir uygulamanın yapılmadan önce, hangi özelliklere sahip yapılarda, hangi yükler altında ve hangi GPS kayıt hızında, doğru sonuç vereceğinin bir model üzerinde teknik fizibilitesinin yapılması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, uzun periyotlu yapıların modellendiği bir sistem üzerine belirli bir ilk deplasman uygulanarak yani prototipin tepesinden çekilerek yapımış olduğu gerçek dinamik hareket, gerçek zamanlı kinematik ölçüm yapabilen GPS ile kayıt altına alınarak belirlenmiştir. Yapılan test modeli değişik yapı özelliklerini yansıtılması için değişik ağırlıklar eklenerek ve değişik yükseklikler için gerçek zamanlı ölçümler tekrarlanarak her bir modelin pratikte yaptığı hareket belirlenmiştir. Bu değişik uzunluk ve ağırlık kombinasyonlarını içeren modellerin yaptığı gerçek hareket, tek serbestlik dereceli sistemin sönümlü serbest titreşimlerinin deplasman-zaman cevabı ile karşılaştırılmıştır.

Ancak, bu karşılaştırmayı yapmadan önce, tüm model testlerinin sonuçlarının doğrulunun ispatı gereklidir. Bu nedenle önce gerçek zamanlı kinematik GPS aletinin ölçüm doğruluğunun teyit edilmesi gereklidir. Bu doğrulmayı yapabilmek için, prototip bir metrelik çubuğun yatay olan uçlarına GPS antenlerinin monte edilecek

şekilde tasarlanmıştır. Her bir test için aralarında sabit olarak 1 metre mesafe yatay olan 2 adet GPS aletinden kayıtlar alınmıştır. Bu kayıtlar zamana bağlı olarak, her iki GPS aletinin ayrı ayrı nokta koordinatlarını içermektedir. Bu koordinatlar farklarından iki nokta arası mesafe hesaplanarak, her kayıt zamanına göre iki GPS aleti arasındaki gerçek mesafe farkı olan 1 metrenin bulunduğu gösterilmiştir.

Tüm bu çalışmalar sonucunda RTK (Gerçek Zamanlı Kinematik) GPS ile dinamik davranışı belirlenebilen yapıların özelliklerini tespit etmek, bu özelliklere sahip olmayan yapılara bu teknoloji ile izleme yapmayarak, zaman kaybı ve kaynakların verimli kullanılmamasına sebebiyet vermemesine neden olacaktır. Diğer yandan prototip üzerinde başarılı olan modellere benzer özelliklere sahip yapılara GPS aletleri yerleştirilerek, yapıların sürekli izlenmesi, hareketlerinin ve dinamik karakterindeki değişiminin belirlenmesi yapının doğruluğu ve performansı hakkında bilgi vermesini sağlayacaktır.

2. YAPILARIN İZLENMESİ

Yapılar hizmet süresi boyunca çeşitli etkilerin altında kalırlar. Bu etkiler genel olarak kendi ağırlığı dışında, iklimsel değişikliklerin oluşturduğu sıcaklık değişimleri, deprem, rüzgâr gibi olaylardır. Bu etkiler yapı üzerinde deformasyona sebep olur. Yapılarda oluşan deformasyonlar, önceden belirlenip gerekli önlemlerin alınabilmesi için sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir.

Yapıların izlenmesi için yıllarca ivmeölçer ve açıölçer vb. aletler kullanılmıştır. Teknolojideki gelişme ile son yıllarda GPS yöntemi ile yapıların izlenmesi mümkün olmuştur. İzleme yapılabilmesi için en uygun yöntemin ve ekipmanın seçilebilmesi ya da yöntemlerin kombine kullanılması maliyete, ihtiyaç duyulan doğruluk hassaslığına ve yapılacak olan izlemenin boyutuna bağlıdır. İzlenecek yapının türü, konumu, yapıdan beklenen olası hareket miktarı, çevresinde bulunan objelerin yapıya olan etkileri deformasyonların izlenmesinde kullanılacak olan ekipman ve yöntemi belirler. Deformasyon ve onların gözlemleri yapılara göre farklılık gösterir. Yapıyı oluşturan malzemenin farklılıkları nasıl bir deformasyon olacağını etkileyen etkenlerden biridir. Titreşim beton barajlar için sıcaklık farklılıklarına ve rezerve edilen su baskısına bağlıdır. Böyle deformasyonlar uzun zaman aralığında gözlemlenebilir. Benzer şekilde, yüksek binalar, asma köprüler gibi uzun periyotlu yapılar trafik yükü ya da rüzgar yükü, anlık sismik yüklerden dolayı olabilecek kısa zaman aralığında ki bağıl hareketler ve büyük deplasmanlar vardır (Erol ve Çelik, 2002).

Bu tarz uzun periyotlu yapıların dinamik hareketinin tespit edilebilmesi için izleme yöntemleri arasında gerçek zamanlı GPS yönteminin kullanılmasının avantajları aşağıdadır.

1- Dijital eğim sensörleri ile GPS'den çok daha hassas ölçüm yapması mümkün ise de deplasman miktarının büyük olduğu durumlarda dijital eğim sensörleri hesap yapma kabiliyetini kaybetmektedir. Bu nedenle bu tarz sistemler

deplasmanın daha az olduğu barajlar gibi deformasyonların uzun zaman aralığında gerçekleşen yapılarda, kullanması verimli olacaktır.

2- Yıllarca gökdelenlerin dinamik davranışının izlenmesi amacıyla ivmeölçer kullanıldı. Ancak bu aletlerin ölçümlerinden bağıl deplasman verisine ulaşmak için iki kere integral işlemi yapmak gerekmektedir. GPS ile ise direkt konum koordinatlarına ulaşmak mümkündür. İvmeölçer, yapının kısa periyot ile titreşim yapması durumunda doğru sonuçları verememektedir. Ayrıca ivme ölçerler 2 boyutta ölçüm yapabilirken, GPS üç doğrultuda ölçüm yapabilmektedir (Lovse,1995).

3- Bir diğer izleme yöntemi olan elektronik mesafe ölçüm aletleri ise hava koşullarından çok etkilenir. Bu tarz ekipmanlar ile izleme yapılabilmesi için yani havanın açık olması gerekmektedir. Ancak GPS hava durumundan etkilenmemektedir fırtına durumunda bile ölçümleme yapılabilir (Cheng at al,2002).

2.1 Uzun Periyotlu Yapıların GPS İle İzlenmesi İçin Yapılan Çalışmalar

Yapıların dinamik davranışının izlenmesi amacı ile son yıllarda birçok çalışma yapılmıştır. Teknolojideki ilerleme ile birlikte izleme için kullanılan ekipmanların teknik özellikleri gelişmekte, ölçme hassasiyeti artmakta ve ölçüm hızları artmaktadır. Bu sayede son 10 yılda GPS yöntemini kullanarak izleme yapmak amacı ile birçok test ve pratik uygulama yapılmış olup geleneksel ölçüm sistemleri ile karşılaştırılıp sonuçları incelenmiştir.

DeneySEL olarak yapılan Mehmet Çelebi ve Ahmet Şanlı'nin yürüttüğü "Uzun Periyotlu Yapıların Dinamik İzlenmesi" çalışmasında 10 Hz kayıt hızı ile çalışan GPS aleti ile 30-40 katlı çelik bir yapının simüle edilmiş basit bir model üzerinde teknik fizibilitesi yapılmıştır. Model üzerinde olumlu çıkan sonuçlar üzerine 44 katlı bir yapının çatısına GPS aleti yerleştirilerek izleme yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda GPS ile yapının dinamik hareketi sırasındaki davranışı ve deplasmanlar doğru olarak tespit edilmiştir (Celebi and Sanli, 2002).

Bu çalışmaya benzer bir çalışma Hyo Seon Park ve arkadaşları tarafından “Yüksek Yapılara Etkiyen Rüzgara Karşı Davranışının İzlenmesi için GPS Uygulaması” adı ile yürütülmüş olup bu çalışmada da edilmiş basit bir model üzerinde GPS verilerinin doğruluğu ispatlandıktan sonra sonuçlar üzerine 66 katlı bir yapının çatısına GPS ve ivmeölçer aleti yerleştirilerek izleme yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda da GPS ile yapının dinamik hareketi sırasındaki davranışı ve deplasmanlar doğru olarak tespit edilmiştir (Park at al,2007).

Xiaojing Li ve arkadaşları ile yürütülen “Entegre GPS ve ivmeölçer sistemi ile tüm ölçekte yapısal izleme” çalışmasında Tokyo’da bulunan 108 m uzunluğunda çelik kuleye GPS ve ivmeölçer entegre olarak yerleştirilmiş ve izleme yapılmıştır. İzleme yapıldığı dönemde gelen tayfun ve deprem olayları esnasında oluşan deformasyon her iki ekipman ile incelenmiştir. Sonuç olarak her iki yöntemde birbiri ile uyumlu sonuçlar vermesine rağmen ivmeölçerden elde edilen sonuçlarda direk deplasman vermediğinden kayıt altına alınan ivme kayıtları 2 kere integral alınarak deplasmana ulaşmıştır (Li at al,2006).

Yüksek binaların GPS ile izlenmesi konusunda yapılan diğer çalışmalar ise; 2000 yılında 280 m. yüksekliğinde 66 katlı Singapur’da inşa edilen Republic Plaza ‘nın dinamik davranışı RTK GPS yöntemiyle izlenmiştir. 1993 yılında ise Kanada Taşıyıcı fazlı DGPS yöntemi ile Calgary Kulesi izlenmiştir. (Loves, 1995). İngiltere’de ki Humber Köprüsüde Kinematik GPS ile izlenmiştir. Japonya’daki 1991 metre açıklıklı Akashi Kaikyo Köprüsü modern ekipmanlar ile izlenmiştir. Hong Kong’da inşa edilmiş Tsing Ma Köprüsü, Kap Shui Mun Köprüsü ve Ting Kua Köprüsü yerleştirilen GPS teknolojisi ile izlenmiştir. Çin’de ise Humen askılı köprüsü ve Diwang Binası gerçek zamanlı olarak GPS teknolojisi ile izlenmiştir (Cheng at al,2002).

Türkiye’de ise İstanbul’un yüksek yapılarından biri olan 42 katlı Şişli Plaza’da, yapı hareketlerinin GPS ölçmeleri ile izlenmesine için bir çalışma yapılmıştır (Uluşık ve ark,2005).

3. GPS (Global Positioning System)

İnsanlık tarihinin başlangıcından bu yana, insanlar nerede olduğunu ve nereye gittiğini anlamak için pratik yollar keşfetmeye başlamıştır. İlk çağlarda yolculuk edenler geçtileri yerleri işaretlemek sayesinde dönüş rotalarını belirlemişlerdir. Daha sonraları insanoğlu hedef gözeterek uzak mesafelere yön bulma konusunda yöntemler geliştirmeye çalışmıştır. Bu konudaki çalışmalar yüzyıllar boyunca sürmüştür. Bu amaç ile modern denizciliğe kadar uzanan uzun dönemde, yıldızlara olan açıl mesafeler ölçülerek uygulanan bir metot geliştirilmiştir. 20. Yüzyıla kadar bu metot kullanılarak konum belirlenmiştir. Bu tarihten sonra elektromanyetik dalgaların sinyal şeklinde iletilmesi ile bir başka yön bulma çeşidi ortaya çıkmıştır. Bu teknoloji ile beraber daha hassas, başka bir sistem olan yapay uydulardan sinyal göndererek konum belirlemek mümkün olmuştur (Eren ve Uzel, 1995).

A.B.D. Hava Kuvvetleri ile Donanmasının uzun yıllar boyunca yaptığı çalışmalar ile GPS veya NAVSTAR (NAVigation System with Time and Ranging Global Positioning System) diye bilinen uzaydan ileri düzeyde yön bulma ve konum belirleme sistemlerini geliştirmiştir (Parkinson and Spilker, 1996).

3.1 GPS'in Tarihçesi

1960'larda Amerika Birleşik Devletler Donanma Yön Bulma Uydu Sistemi (TRANSIT) kurularak yeni bir devrin açılmasını sağlamıştır. Bu ilk operasyonel uydu bazlı yönbulum (navigasyon) sistemi John Hopkins Üniversitesi Uygulamalı Fizikler Laboratuvarı'nca Dr. Richard Kershner tarafından geliştirilmiştir (Parkinson and Spilker, 1996) (Hofmann et al, 1997).

Transit sistemi 1100 km yükseklikte 6 adet yapay uydudan oluşmuştur. Ancak TRANSIT sistemdeki uyduların dünyaya yakın olmaları nedeniyle yerin çeşitli etkilerinden fazla etkilenmekteydi. Ayrıca TRANSIT sistemindeki uydu yörünge periyotlarının kısa olması ve dolayısı ile gözlenen uydunun doğuş ve batış süresi arasındaki farkın az olması, gözlem süresinin kısılmasına neden oluyordu. Diğer

büyük bir problemde bu sistemdeki uyduların yeryüzünde herhangi bir noktadaki alıcıyla ancak 90 dakikada bir gözlenebiliyor olması nedeniyle, uyduların ardışık iki geçişi arasındaki alıcı konumlarının interpolasyon ile belirlenebilmektedir. Bu nedenler ile bu sistem ile elde edilen konum belirleme oldukça düşük hassasiyette olmakta idi (Hofmann et al, 1997).

TRANSIT ile eşzamanlı olarak 1972 de Donanma Araştırma Laboratuvarı (Naval Research Laboratory) çok hassas saatli uydu projesi olan Timation'i geliştirme çalışmalarına devam ediyordu. İlk Timation uydusu quartz-kristal osilatör kullanırken daha sonraki modelleri rubidyum ve cesium atomik saatlerini kullandılar. Transit'le başlayan bu öncü çalışmalar GPS için önemli bir temel oluşturdu. GPS için üçüncü bir temel çalışma da A.B.D. hava kuvvetlerinin 621B isimli yön sistemi programı olmuştur (Parkinson and Spilker, 1996) (Hofmann et al, 1997).

1970'li yıllarda üzerinde çalışılan bu sistemlerde değerlerin elde edilme sürecinin Savunma Bakanlığına uyumu için çok sayıda değişiklik yapma ihtiyacı duyulmuştur. Verimliliği artırmak ve gereksiz sürtüşmeleri önlemek için 1973 yılında A.B.D. Savunma Bakanlığı, Hava Kuvvetlerini yetkili kılarak, çoklu katılım ile mevcut, uydudan yönbulum sisteminin geliştirmesi için 1 Eylül 1973'te Navstar GPS JPO (Joint Program Office) yönetiminde çalışmalara başlanmıştır. Bu projenin Navstar isminin çağrıştırdığı navigasyon işlevinden daha kapsamlı olduğu gerekçesiyle General Hank Stehling tarafından ismine Küresel Yer Belirleme Sistemi (GPS) eklenmesi yapılmıştır (Parkinson and Spilker, 1996).

Bugün işletilen sistem 1973'de önerilen sistem ile çok benzerdir. Uydular daha çok askeri kapasitesinin artırılması için ilave fonksiyonlar ile büyütülmüş ama ilk dört orijinal uydu ile çalışması için tasarım edilen takım hala hizmet vermektedir (Parkinson and Spilker, 1996).

3.2 Sistemin Çalışma Prensipleri

GPS için temel yön bulma tekniği GPS uydusu tarafından yayınlanan sinyalinin tek yönlü olarak ulaşma zamanının ölçümüdür. Mesafe aynı anda çalışan

4 uydu tarafından yayılan sinyallerin kullanıcı tarafından alınan sinyallerin eşleştirilmesi ile kullanıcının kristal saati tarafından ölçülmesi ile gerçekleştirilir. Bu dört uydu ve uygun geometri ile enlem, boylam, yükseklik ve kullanıcı saati düzeltilmesi olan 4 bilinmeyen bulmak mümkündür. Bu bilinmeyenlerden ne kadarı önceden biliniyorsa dört uydudan o kadar eksikliği kadar uyduya gereksinim var demektir (Parkinson and Spilker, 1996) (Hofmann et al, 1997).

GPS sistemi Uzay Bölümü, Denetim Bölümü ve Kullanıcı Bölümü olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır (Parkinson and Spilker, 1996).

Ölçümleme yaparken her uydunun gelecek pozisyonu dünya genelinde oluşturulan denetim bölümünü oluşturulan izleme istasyonları ile mesafe ölçülmesi ile tahmin edilmektedir. Gelişmiş tahmin algoritmalarını kullanarak ana denetim istasyonlarından uydunun gelecek pozisyonu ve gelecek uydu saat düzeltmelerinin tahmini yapılmaktadır (Parkinson and Spilker, 1996).

3.3 GPS Mesafeleme Sinyali

GPS Uyduları L1(1575,42 MHz) ve L2(1227,6 MHz) olmak üzere iki frekansta mesafe kodu ve navigasyon verisi yayımlar. Bu taşıyıcı dalga frekansları, uydu temel frekans olarak seçilen 10.23 MHz.' in sırasıyla 154 ve 120 katlarıdır.

Uydudan yayımlanan sinyalin uydudan çıkış anı ile alıcıya ulaştığı ana kadar arada geçen zamanın ışık hızıyla ölçeklendirilmesiyle elde edilen uydu alıcı uzaklığına "Pseudorange" denir.

Her uydu L1 ve L2 frekanslarında yayın yapmakla birlikte farklı bir kod kullanır. L1 ve L2 taşıyıcı frekansları; uydu saati düzeltmeleri, yörünge parametreleri gibi bilgilerin yeryüzündeki alıcıya ulaştırılabilmesi amacıyla kodlarla ve Navigasyon mesajı verileri ile modüle edilmiştir. Bu modülasyon işlemi her uyduya PRN (Pseudo Random Noise) kod numarası verilmiştir. Navigasyon verisi, alıcının uydunun yerini yayımı anında belirlemek için gerekli bilgiyi içerir. Bununla birlikte mesafe kodları da uydunun yayımının kullanıcıya geliş süresini belirlemede

kullanılır. Her uydunun PRN kodu diğerlerinden bağımsız olduğundan uydu sinyalleri birbirinden değişik teknikler kullanılarak ayırt edilebilmektedir ve birbirleri ile karıştırılmamaktadır (Parkinson and Spilker, 1996),(Kaplan, 1996).

GPS iki farklı kalitede hizmet sunmaktadır: Standart Yerbulum Servisi (SPS) ve Hassas Yerbulum Servisi (PPS). Bunlardan SPS sivil kullanım için belirlenmişken, PPS askeri amaçlı olarak kullanılmaktadır. PPS'e erişim çeşitli kriptolama özellikleri ile korunarak kullanımına sınırlama getirilmektedir (Parkinson and Spilker, 1996).

3.4 Ölçü Mesafeleme Türleri

Taşıyıcı dalga faz ölçüsü ve kod ölçüsü olarak iki tür ölçü mesafeleme türü vardır. Taşıyıcı dalga faz ölçüleri Kod ölçülerine göre daha hassas sonuç verir. (Parkinson and Spilker, 1996).

a) Kod Ölçülerinden Uzaklık Belirleme

Uydu ve alıcı eş zamanlı ve aynı karakterli kodlar üretir. Bu neden ile uydudan çıkan sinyaller alıcıya ulaştığında, alıcı ve uydu kodları karşılaştırılırlar. Alıcı ve uydu kodları aynı olmadığından bir miktar kayıklık gözlenir. Bu kayıklık miktarı ışık hızı ile çarpılınca uydu ile alıcı arasındaki mesafe bulunur.

b) Faz Ölçülerinden Uzaklık Belirleme

Alıcı ile uydu arasında ilk irtibat kurulmasından itibaren, taşıyıcı dalgaların (L1, L2) alıcıya giren tepe noktaları sayısı ölçülmektedir. Faz ölçülerinden uzaklık belirleme uydudan yayınlanan L1 veya L2 sinyalinin taşıyıcı fazı ile alıcı tarafından üretilen sabit referans sinyalin fazı arasındaki farkın hesaplanarak tanımlanmaktadır, (Leick,1990). Taşıyıcı dalganın dalga boyları, kodlarının dalga boylarından kısa olduğundan dolayı, taşıyıcı dalga faz ölçülerinin duyarlılığı kod ölçüsü pseudorange ölçüsününkinden daha yüksektir (Wells et al, 1987).

Bir alıcı ölçü almaya başladığında herhangi bir uydudan kaydedilen ilk sinyalin tam dalga boyu sayısı belirli değildir. Bu sayı taşıyıcı dalga başlangıç faz belirsizliği (Ambiguity) adını alır. İlk sinyalin geriye kalan parçası ise ölçülür. Tamsayı bilinmeyen olarak da anılan bu problem, ölçülerin değerlendirilmesi sırasında çeşitli ölçü kombinasyonları ve istatistik kestirmeler ile hesaplanır. Faz ölçüleri bu nedenle pratik navigasyon uygulamalarında kullanılmamaktadır (Parkinson and Spilker, 1996).

3.5 Uydu Tasarımı ve Yörünge Konfigürasyonu

GPS'in Uzay bölümünü oluşturan uydular ile ilgili olarak ilk yörünge konfigürasyonu 1973 yılında toplam 24 adet uydu olarak onaylanmıştır. 3 yörüngede 8 uydunun 63 derecelik eğim ile oluşturulmuş olup yörünge yüksekliği 10.980 deniz milidir (1 deniz mili = 1.853181 km) .

Zaman içerisinde iki değişikliği yapılmıştır, bunlardan biri eğim 55 dereceye düşürülmüş olup diğeri de yörünge sayısı 6'ya çıkarılmıştır. Ancak uydu sayısı gene 24'dür. Uydular yörünge duruşu tüm 3 yönde stabilize edilmiş olup temel enerjisini elde etmek için güneş panellerini kullanmaktadır. Mesafe sinyali uydunun kollarındaki anten tarafından yayılmaktadır. GPS uyduları geleneksel olarak rubidyum ve sezyum olmak üzere 2 tip atomik saat kullanmaktadırlar (Parkinson and Spilker, 1996).

3.6 GPS Hata Kaynakları

GPS tarafından gönderilen sinyaller aşağıda açıklanan sebeplerden dolayı hatalı ölçümleme ve hatalı pozisyon hesaplayabilir.

a) Efemeris Veri hataları:

Uzayda yer alan uyduların, yörüngeleri, yer izleme istasyonlarından yapılan ölçülerle belirlenmekte ve uydu konum bilgilerinin bulunduğu efemeris verileri oluşturulmaktadır. Bu efemeris verileri yayınlanmış yörüngede bulunan ve uyduların

anlık koordinatlarının hesaplanmasında kullanılan parametreler ile belirlenmektedir. Parametrelerin doğru olmaması efemeris veri hatalarını oluşturur. Bu parametreleri doğru olmamasına, gezegenlerin yerçekimsel etkileri, atmosferik etkiler, güneşin radyasyon basıncı, manyetik kuvvetler ve dünyanın deformasyonları nedeni ile dünyanın yerçekimi alanının değişmesi neden olur (Parkinson and Spilker, 1996).

b) Uydu Saat Hataları:

Yayınlanmış yörüngede bulunan uydu saatine ilişkin parametrelerdeki hatalardır. Uydularda sezyum, rubidyum gibi hassas saatler kullanılmasına rağmen uydu saat hataları olabilmektedir. Uydu-alıcı saatlerinin bazı nedenlerden dolayı GPS zamanına göre iyi senkronize edilememesi, uydu-alıcı arasındaki ölçümlemenin uydu saat hata kaynağının en büyük kaynağıdır.

Bu hatalar yükleme istasyonu tarafından düzeltilir. Düzeltmeler, yükleme istasyonlarından, hesaplanan uydu saati hataları uydulara yüklenir ve yayınlanan navigasyon mesajı ile kullanıcılara ulaştırılır.

c) Atmosferik Hatalar:

Kod ve faz ölçülerinde, iyonosfer ve troposferden kaynaklanan hatalardır. Sinyaller uzaydan yeryüzüne ulaşana kadar yeryüzünü çerçeveleyen gaz tabakası olan atmosferin katmanlarında kırılmakta ve bu şekilde kat ettikleri mesafeler artmaktadır. Atmosfer katmanların farklı özellikleri olması nedeni ile uydudan gelen sinyaller atmosferin katmanlarına içerisinden geçerken farklı etki oluşturur. Buna bağlı olarak atmosferik hataları oluşturan iyonosfer ve troposfer gecikmeleri ayrı ayrı incelenmelidir (Hofmann et al, 1997).

c-1) Troposfer Gecikmesi

Nötr (iyonsuz) atmosfer, yeryüzünden 100 km. yukarısına kadar uzanan ve atmosferin yeryüzü ile temas halinde olan en alt katmanıdır. Troposferik gecikme sinyalin frekansına bağlı olmayıp, her iki taşıyıcı dalgaya da aynı derecede etki etmektedir. Troposferik gecikme; kuru ve ıslak olmak üzere iki parçaya ayrılır. Kuru bileşeni yüzey meteorolojik ölçmelerinden türetilen birçok de düşey olarak sıvı su ve

su buharının düzensiz dağılımından dolayı hesaplanması zordur. Bunlardan kuru hava bileşeni toplam kırılmanın büyük kısmına sebep olmaktadır. Gecikmenin ıslak bileşeni toplam etkinin küçük kısmını oluşturmasına rağmen toplam gecikme için çok hassas bir çözüm bulmada kısıtlayıcı rol oynayan bir belirsizliğe neden olmaktadır (Hofmann et al, 1997).

c-2) İyonosfer Gecikmesi

İyonosfer, yeryüzünden 100 km.'den 1000 km.'ye kadar olan ve yeryüzü etrafındaki küresel bir kabuk olarak düşünülebilir. İyonosferin GPS sinyallerine olan gecikme etkisi elektron yoğunluğuna bağlıdır. Elektron yoğunluğu yaklaşık 300–400 km. yüksekliğe kadar artar ve sonra tekrar azalmaya başlar.

İyonosfer boyunca seyahat eden bir elektromagnetik sinyal iki biçimde etkilenir. Faz hızı artarken kod hızı yavaşlar. Her iki etki de büyüklük olarak aynı fakat ters işaretlidir. Diğer bir deyişle GPS kod ölçmeleri gecikir, fakat taşıyıcı faz ölçmeleri ise hızlanır. Bu yüzden uydu ile alıcı arasındaki geometrik uzunluğa kıyasla kod ön-uzunlukları daha uzun, taşıyıcı faz ön-uzunlukları daha kısa ölçülür.

İyonosferik etkileri gidermede en kolay ve en doğruluklu yöntem iki frekansta yapılan gözlemleri birleştirmedir. Zaten GPS'e iki tane taşıyıcı dalga yerleştirilmiş olmasının ana nedeni de bu çift frekans yöntemi kullanımına olanak tanımaktır (Hofmann et al, 1997).

d) Yansıma Hataları (Multipath) :

Sinyallerin alıcıya girmeden önce yansyarak daha fazla mesafe kat etmelerinden kaynaklanan hatalardır.

Kelime anlamı birden fazla yol olan multipath, uydudan gönderilen sinyallerin alıcıya birden fazla yol izleyerek ve esas sinyale karışarak ulaşmasına denmektedir. sinyal yansımalarını, uyduların neden olduğu yansımalar (satellite multipath) ve alıcı antenin çevresindeki yüzeylerin neden olduğu yansımalar (antenna multipath) diye ikiye ayırmak mümkündür.

e) Alıcı Hataları

Sinyaller alıcıya ulaşırken hangi faktörlere maruz kalırlarsa kalsınlar, sonuç olarak ölçümler alıcı tarafından yapılmaktadır. Alıcı hataları, alıcı yazılımı (firmware), alıcının sahip olduğu kanalların aynı yetenekte olmaması, sıcaklığa bağlı olarak ortaya çıkan sinyal gürültüsü olarak özetlenebilir.

f) Uyduların Geometri Hatası:

Uyduların ölçüm anındaki konumlarının konumlama için uygunluk derecesinden kaynaklanan hatalardır. GPS' ten elde edilecek konum doğruluğu, yukarıda açıklanan hata kaynakları içinde elde edilen mesafe doğruluğu dışında, o andaki uyduların konumlarına bağlı olarak ortaya çıkan geometrik hatalara bağlıdır.

3.7 Diferansiyel GPS (DGPS)

GPS'in doğasından gelen 2.1.6'da anlatılan hata kaynakları nedeniyle özel ölçme donanımı ve yazılımı kullanılmadan elde edilen anlık koordinatların doğruluğu düşük olmaktadır. Birçok uygulama için bu doğruluk değerleri yeterli olmamaktadır.

Bu nedenle klasik GPS olarak adlandırılan bu yöntemden daha hızlı ve doğru sonuçların elde edildiği DGPS yöntemleri geliştirilmiştir. DGPS, ortamdaki ve sistemden kaynaklanan hataların, koordinatları çok iyi bilinen bir ana noktada sürekli işletilen bir alıcı yardımıyla azaltılması düşüncesine dayanır. DGPS'te bir alıcı konumu çok iyi bilinen bir noktada sabit iken diğer alıcılar hareketlidir. Sabit noktadaki ölçüler veya ölçüler ile hesaplanan yeni koordinatların bilinen eskilerinden farkları alınarak bulunan fark, düzeltme olarak gezen alıcıların ölçü ve koordinatlarına getirilir. Ancak hareketli (Rover) ile sabit (Referans) istasyon arasındaki mesafe arttıkça doğruluk değeri düşmektedir. Bunun en önemli nedenleri referans istasyon ile kullanıcının gördüğü yörünge parametrelerinin ve iyonosfer ve troposfer gecikmelerinin farklılaşması olmaktadır. 100 km'yi aşan uzaklıklarda DGPS'in beklenen doğruluğu verememektedir (Parkinson and Spilker, 1996).

Sabit istasyonda hesaplanan düzeltme miktarları anında ve uygun bir telsiz sistemiyle kullanıcılara yayımlanır. Bu düzeltmeleri alacak donanıma sahip DGPS alıcıları, hesapladıkları koordinatlara veya ölçülerine, yayınlanan düzeltmeleri getirerek daha duyarlı konum bilgileri elde ederler. Bu yöntemle konum belirlemeye “Anında (Real Time) DGPS” denir. Eğer bu düzeltmeleri göndermeye veya almaya elverişli alıcılar yok ise; referans istasyonunda hesaplanan düzeltmeler manyetik ortamda depolanıp, daha sonra bürodaki hesap sırasında konum bilgilerine getirilirler. Bu yöntemde de “Oturum sonrası (Postprocessing) DGPS” denir.

DGPS kullanım alanlarına göre 3’e ayrılır.

3.7.1. DGPS’in kategorileri

a) Lokal Alan Diferansiyel GPS (LAAS)

Diferansiyel düzeltmeler için kullanılan veri aktarım sistemleri, çevresel etkenler nedeniyle sınırlı bir alan içerisinde kullanılmaktadır. Bir diğer sorun ise her kullanıcının düzeltmeleri yayınlamak amacıyla kendi referans istasyonunu kurması zorunluluğudur. Bu sorunları aşmak amacıyla lokal (100 km) DGPS yayını yapan sistemler oluşturulmuştur. Bu şekilde tüm kullanıcılar belirtilen veri aktarım sistemlerini kullanarak bu düzeltmeleri kullanabilmektedirler. Bu sistemde kod ölçüleri kullanılmaktadır (Parkinson and Spilker, 1996).

Bu lokal sistemlere LAAS (Local Area Augmentation System) adı verilmektedir.

b) Geniş Alan Diferansiyel GPS (WAAS)

Bir ana istasyon, yeterince yerel istasyon ve aralarındaki haberleşme ağından oluşan WAAS (Wide Area Augmentation System) teknikleri ortaya atılmaktadır.

Bu sistemde her yerel istasyon yüksek kaliteli rubidyum saatlerle donatılmış olarak görüş alanındaki uyduları izlemekte ve bilgileri ana istasyona gönderilmektedir. Ana istasyon da bu verileri uygun bir formata sokarak uyu,

telefon veya telsiz gibi hatlar aracılığıyla kullanıcılara ulaştırmaktadır (Parkinson and Spilker, 1996).

c) Taşıyıcı Fazlı Diferansiyel GPS

Çok hassas derecede doğruluk istenen durumlarda Taşıyıcı Fazlı Diferansiyel GPS (CDGPS) diye adlandırılan tekniği kullanılır. Bu sistemde ölçülen, referans istasyonundaki taşıyıcı faza göre hareketli alıcıdaki GPS taşıyıcı faz ölçüsüdür. Sonuçta uzaklık ölçme duyarlılığı taşıyıcı dalga boyunun birkaç yüzdelik kısmına karşılık gelmektedir.

Eğer antenler sabit ise buna statik ölçme yöntemi denir ve statik ölçme yönteminde duyarlılık milimetre düzeyindedir. Eğer antenler hareketli ise bu işlemler RTK ölçümleme olarak adlandırılır.

Tablo 3.1.'de değişik yöntemlere göre DGPS.nin yatay konum doğruluğunu vermektedir (Parkinson and Spilker, 1996).

Ölçme Yöntemi		Baz Uzunluğu		
		0-50 km	0-200 km	0- 3000 km
Taşıyıcı faz ölçüleri	Statik	1-10mm+1ppm		
	Kinematik	10-100 mm		
Kod-faz ölçüleri	Lokal alan DGPS		1-5 m	
	Geniş alan DGPS			5-10 m

Tablo 3. 1 Değişik Yöntemlere göre DGPS Yatay Konum Doğruluk Tablosu

3.7.1.1 Gerçek Zamanlı Kinematik GPS (RTK GPS)

Global Konum Belirleme Sisteminin, yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda kullanılmasını sağlayan RTK GPS, çift frekanslı taşıyıcı faz ölçülerini kullanarak çalışmaktadır.

RTK GPS'in genel prensibi, GPS alıcılarından biri sabit olarak sürekli gözlem yaparken, diğer gezici GPS alıcısı da konum çözümünü gerçekleştirir. Sabit alıcı ile uydu arasındaki herhangi bir t zamanında ölçülen taşıyıcı faz uzunluğu ile, uydu-alıcı arasındaki koordinat farklarından hesaplanan geometrik uzunluk karşılaştırılır. Taşıyıcı faz ölçülerine getirilecek düzeltme ve düzeltme oranı hesaplanarak gezici alıcılara radyo dalgalarıyla iletilir. Gezici alıcılar, kodlanarak radyo dalgaları üzerine modüle edilmiş olan düzeltmeleri alarak, kendi taşıyıcı faz ölçülerine düzeltme olarak getirirler. Böylelikle gezici alıcıların hassas olarak konumları belirlenir (Langley,1998.)

Gerçek Zamanlı GPS tekniklerinde gezici alıcıya gönderilen düzeltme mesajları belli bir formata uygun olmalıdır. Her alıcı firması gerçek zamanlı uygulamalar için kendi özel formatını üretmiştir. Fakat bu durumda farklı formatlardaki veriler farklı alıcılar tarafından kullanılamaz. Bu problemi önlemek amacıyla Teknik Radyo Komisyonu Denizcilik Servisi, Özel Komitesi (Radio Technical Commission for Maritime Services, Special Committee 104) referans alıcı ile gezici alıcı arasında düzeltme verilerinin yayınlanması amacıyla standart bir format yayınlamış ve bu format RTCM SC-104 olarak isimlendirilmiştir (Parkinson and Spilker, 1996).

Bu sistemin kullanılabilmesi için gerekli olan temel bileşenler :

- a. Gezici (rover) GPS Alıcısı: Çift frekanslı ve taşıyıcı dalga faz ölçü düzeltmelerini (RTCM SC-104) alabilecek ve eğer ayrı bir bilgisayar kullanılmayacaksa, OTF (On-the-Fly) ile tam sayı bilinmeyenini kendi iç yazılımı (firmware) ile çözebilecek yeteneğe sahip olmalıdır.
- b. Sabit Alıcı (reference) GPS Alıcısı: Çift frekanslı, ve taşıyıcı dalga faz gözlem düzeltmelerini kendi iç yazılımı (firmware) ile hesaplayabilecek, eğer ayrı bir bilgisayar kullanılacaksa, ham faz ölçülerini gerçek-zamanlı olarak bilgisayara aktarma yeteneğine sahip olmalıdır.

c. Referans alıcısından faz düzeltmelerini alarak gezici istasyona gönderecek 'transmitter' yeteneğinde radyo-modem ve gelen bu düzeltmeleri alarak gezici alıcıya veya bilgisayara iletebilecek 'receiver' yetenekte radyo modem. Bu sistemde kullanılacak radyo modemin veriyi sabit istasyondan gezici istasyona her 0.5 ~ 2 saniyede güncellemesi gerekir. Veri güncelleme oranının sıklığı nedeniyle gönderilen verinin hacmi artar. Her ne kadar düzeltme değerleri 0.5-2 saniye gibi kısa bir sürede güncellense de yine de veriler referans alıcıdan gezici alıcıya ulaşınca kadar bir miktar gecikme (data latency) olur. Bu gecikme nedeniyle de gezici alıcının koordinatları, tam ölçü anındaki düzeltme değerlerine göre değil sinyalin referans alıcıdan gezici alıcıya ulaşma süresi kadar eski düzeltmelerle hesaplanır. Bu da RTK GPS' in kullanım menzilini sınırlamaktadır

RTK GPS yönteminin diğer GPS ölçme yöntemlerine göre avantajları ise aşağıda listelenmiştir (Mekik ve ark, 2003):

- Sonradan hesap gerektirmez.
- Tüm noktaların doğru olarak ölçme güvencesi vardır. Klasik kinematik yöntemde sabit istasyonda faz sıçraması olursa veya sinyal kesilmesi oluşursa (ve fark edilmezse) kinematik konum hesabı yapılamaz. RTK'da bu durum anında fark edildiğinden yeni bir tamsayı belirsizliği çözümüyle gözlemlere devam edilir.
- Koordinatları bilinen noktalara oldukça duyarlı (santimetre düzeyinde) navigasyon ve aplikasyon yapılabilir.

4. YAPILARIN TİTREŞİMLERİ

Titreşim problemlerinin konusu, zamana bağlı olarak değişen dinamik yükler altında taşıyıcı sistemdeki gerilmelerin ve deplasmanların incelenmesini kapsar.

Dinamik davranışa yol açan etkiler, titreşen ağır makineler, çarpma, patlama, rüzgar ve deprem etkileri olabilir. Bu yüklerin büyüklüğü, doğrultusu ve etkime yeri zamana bağlı olarak da ortaya çıkabilir. Bunun sonucu olarak da taşıyıcı sistemde meydana gelen iç etkiler, şekil değiştirme ve deplasmanlar zamanın bir fonksiyonu şeklinde belirir. Ağır makinelerin dinamik etkisindeki yapılar, kule türünde yüksek binalar ve büyük açıklıklı köprülerde yapının dinamik davranışının incelenmesi gerekir. (Celep ve Kumbasar, 2001).

Bu amaçla kullanılan yöntemler, yapı statüğünde bilinen ve kullanılan ilkeleri genelleştirerek dinamik yükler altındaki taşıyıcı sistemlere uygulamak oluşturur.

Dinamik çözüm, statik çözüm gibi tek bir çözümden ibaret olmayıp, zamana bağlı bir çözüm topluluğudur. Ayrıca dinamik deplasman sırasında meydana gelen atalet kuvvetleri de statik çözüm için gerekmektedir. Basit kirişe dinamik yük uygulanması durumunda ise ortaya çıkan deplasmanların ivmeleri atalet kuvvetleri meydana çıkartır. Dinamik çözüm için kullanılan yöntemler, yapı statüğünde bilinen ve kullanılan ilkeleri genelleştirerek dinamik yükler altındaki taşıyıcı sistemlere uygulamaktır.

Dinamik yükleme esnasında oluşan kuvvetler harekete sebep olan dış yük ve hareketin ivmelenmesine karşı duran atalet kuvvetleridir. Kirişin kesitlerinde ise, bu iki kuvvete karşılık kesit tesirleri meydana gelir. Bu nedenlerden dolayı sistemin iç kuvvetlerin hesap edilebilmesi için daha önce atalet kuvvetlerinin belirlenmiş olması gerekir. Ancak atalet kuvvetleri ise, yerdeğiştirmelere, buna bağlı olarak iç kuvvetlere bağlıdır. Bu birbirine bağımlılık şeklinde ortaya çıkan kısır döngünün bozularak hesap yapabilmeleri için, sistemin hareketi için yazılacak diferansiyel denklemin uygun sınır ve başlangıç koşulları altında çözülmesi gerekmektedir.

Dinamik davranışın tamamen belirli olabilmesi için, başlangıç koşulları yanında sistemin mesnetlenme şeklinin, yani problemin sınır koşullarının da bilinmesi gerekir.

Dinamik çözümlemede ele alınan problemin matematik modelinin kurulması esnasında bazı basitleştirici kabullerin yapılması gerekir. Bu kabullerin seçiminde taşıyıcı sistemin özellikleri ile beraber, etkiyen yüklerin türünün de göz önüne alınması önemlidir. Yapılacak çok fazla kabuller sistemin davranışını gerçekçi biçimde yansıtamayacaktır. Uygun kabuller yapabilmek için ise, mühendislik deneyimi gerekmektedir.

Yapısal titreşimler, inceleme kolaylığı sağlamak bakımından, zorlanmış titreşimler: ve serbest (doğal) titreşimler olarak sınıflandırılabilir. Zorlanmış titreşimler, bir dış etki ile ortaya çıkan titreşimlerdir. Serbest titreşimler ise dış zorlamanın olmadığı başlamış bir titreşimin, sebep ortadan kalktığı hâlde sürmesi hareketidir.

Matematik model kurulduktan sonraki dinamik çözümleme için hareket denklemlerinin yazılması ve modelin davranışının belirlenmesi gerekmektedir (Celep ve Kumbasar, 2001).

4.1 Sistemin Serbestlik Derecesi

Sistemin Serbestlik Derecesi, yapılan kabuller gereği olan taşıyıcı sistemin tüm yerdeğiştirmesi seçilen bazı noktaların yer değiştirmesi ile veya belirli fonksiyonların toplamı şeklinde ortaya çıkan noktaların veya koordinat fonksiyonlarının sayısıdır. (Celep ve Kumbasar, 2001).

4.1.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler

Bir sistemin hareket halinde bulunduğu konumun, tek bir değişkenin verilmesi ile belirlendiği sistemlere tek serbestlik dereceli sistemler olarak adlandırılır. Bu tür sistemlerin dinamik davranışının belirlenebilmesi için sistemin hareket denkleminin yazılması gerekmektedir. Her ne kadar, yapılar sürekli sistemler ise de, günümüzde

yaygın olan bilgisayar çözümleri için sistem ayrıklaştırılır ve çok serbestlik dereceli sistem haline getirilir. Çok serbestlik dereceli sistemlerin incelenmesinde de tek serbestlik dereceli sistemlerin ana kavramları kullanılır. Bunun yanında çok serbestlik dereceli sistemlerin çoğu, basit yaklaşımla, tek serbestlik dereceli olarak kabul edilerek uygun yaklaşıklıkta sonuçlar elde edilebilir (Celep ve Kumbasar, 2001).

4.1.2 Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Hareket Denklemi

Genel tek serbestlik dereceli bir sistem bir yay kütle sistemi olarak gösterilebilir. m rijit kütlesi, k elastik yayına ve c sönümüne sadece bir yönde öteleme yapacak şekilde bağlanmıştır. Bu yay kütle sistemine, zamana bağlı $P(t)$ dış yükü etkitildiğinde, sisteme etkiyen dış yük zamana bağlı olduğu için, $u(t)$, kütle nin nihai deplasmanı da zamana bağlı olacaktır. Bu diferansiyel denklemin çözümü, iki metot kullanılarak incelenebilir. Bunlardan ilki; Newton'un II. Hareket Yasası, diğeri ise Dinamik Denge yöntemidir.

Belli bir zamanda, çerçeve kütle sine etkiyen kuvvetler $P(t)$ dış yükü, $f_s(t)$ elastik ya da elastik olmayan direnç kuvveti, $f_I(t)$ atalet kuvveti ve $f_D(t)$ sönüm direnç kuvvetidir. Buna bağlı olarak, $u(t)$ deplasman, $\dot{u}(t)$ hız ve $\ddot{u}(t)$ ivme değerleri de x eksenini doğrultusunda pozitif yöndedirler. Elastik kuvvet ve sönüm kuvveti, sırasıyla deformasyon ve hıza karşı koyan iç kuvvetler oldukları için seçilen yöne ters etkitilmişlerdir. Newton'un II. Hareket Yasası uyarınca; dinamik davranışın, sisteme etkiyen ve zamana bağlı olan $P(t)$ dış kuvveti ve $u(t)$ yer değiştirme sonucu ortaya çıktığı kabul edilerek dinamik kuvvet dengesi

$$f_I(t) + f_s(t) + f_D(t) = P(t) \quad (4.1)$$

olarak yazılabilir. Buradaki atalet, sönüm ve elastik yay kuvveti de

$$f_I(t) = m\ddot{u}(t), \quad f_s(t) = ku(t), \quad f_D(t) = c\dot{u}(t)$$

olarak ifade edilebilir. Sonuç olarak hareket denklemi

$$m\ddot{u}(t) + k u(t) + c\dot{u}(t) = P(t) \quad (4.2)$$

şeklinde yazılabilir.

4.2 Serbest Titreşim

Bir sistem statik denge durumunu bozarak, herhangi bir dış dinamik etki uygulamadan salınım yapmasına serbest titreşim denir. Tek serbestlik dereceli sistemde yapılan serbest titreşim dinamik analiz çalışmaları için en temel model olup bir başlangıç noktasıdır (Chopra, 2001).

Titreşim hareketlerinde, hareketin kendini bir kere tekrarı için geçen zaman Periyot olarak ve birim zamanda yapılan periyodik hareket sayısı Frekans olarak isimlendirilir. Periyot ve frekans için zaman birimi olarak s (saniye) kullanılır ve 1 saniyede yapılan periyodik hareket sayısı Hz (Hertz) olarak isimlendirilir.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4.3)$$

Dairesel frekans olarak adlandırılır ve gözönüne alınan titreşim hareketi

$$T = 2\pi / \omega \quad (4.4)$$

Periyoduyla ve

$$f = 1/T \quad (4.5)$$

frekansıyla meydana gelir.

4.2.1 Sönümsüz Serbest Titreşim

Tek serbestlik dereceli sistemleri sönümsüz ve dış etkilerin olmadığı durumda statik denge konumundan uzaklaştırmaya bırakıldığında bir titreşim yapar ve dış etki olmadığı takdirde sürekli titreşim devam eder. Bu tarz titreşimler tabiatta bulunmadığı halde, tabiatta bulunan hareketleri temsil eden, daha çok hesaplarda pratik kolaylıklar getirdiği için incelenen hareketlerdir.

Dış bir zorlama ($P(t)=0$) ve sönüm ($c=0$) olmadığı için hareket Sönümsüz Serbest titreşim hareketi olarak tanımlanır. Böyle bir durumda, ilk dengenin bozulduğu an;

$u = u(0)$, $\dot{u} = \dot{u}(0)$ olarak kabul edildiğinde hareketin genel denklemi (4.6) denkleminde verildiği gibidir (Chopra, 2001).

$$m\ddot{u} + ku = 0 \quad (4.6)$$

Serbest titreşim; sistemin statik denge konumundan tetiklenerek, sıfır anında kütesine belli bir $\dot{u}(0)$ hızıyla, $u(0)$ deplasmanı yaptırılması sonucu başlar. Bu harekete maruz kalan sistemin homojen diferansiyel hareket denkleminin çözümü çeşitli matematiksel yöntemlerle bulunmuş olup, (4. 7) denkleminde verildiği gibidir.

$$u(t) = \frac{\dot{u}(0)}{\omega_n} \sin \omega_n t + u(0) \cos \omega_n t \quad (4.7)$$

(4.7) ifadesinde;

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4.8)$$

Sistem, statik denge konumu olan $u = 0$ 'dan titreşime başlamakta ve her $2\pi/\omega_n$ saniye aralıkla bu hareket kendini tekrar etmektedir. Bu hareket, basit harmonik hareket olarak tanımlanır (Chopra, 2001).

Sönümsüz sistemin, bir tam devir serbest titreşebilmesi için gereken süre sistemin doğal titreşim periyodu olarak adlandırılır ve T_n sembolü ile gösterilir. Birimi ise “radyan/saniye” dir.

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (4. 9)$$

Bir sistem, $1/T_n$ devri, 1 saniyede tamamlar. Buda, titreşimin doğal frekansı olarak adlandırılır.

$$f_n = \frac{1}{T_n} \quad (4.10)$$

f_n 'nin birimi Hertz (Hz) dir. f_n ve ω_n arasında bir bağıntı yazılacak olursa aşağıda ki eşitlik elde edilir.

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} \quad (4.11)$$

Doğal titreşim frekansı terimi, f_n ve ω_n içinde kullanılabilir.

T_n , f_n ve ω_n , doğal titreşim özellikleri, sadece yapının kütle ve rijitliğine bağlıdır. (4. 8) den (4.11)'e kadar olan ifadelerin incelenmesinden de bu görülür. İki tane aynı kütleye sahip tek serbestlik dereceli sistemden, daha rijit olanı, daha yüksek doğal frekansa ve daha düşük periyoda sahip olacaktır. Benzer olarak, aynı rijitlikte iki yapıdan daha ağır olanı, daha düşük doğal frekansa ve daha büyük periyoda sahip olacaktır. Burada T_n , f_n ve ω_n ifadelerinde, doğal sıfatının kullanılmasının amacı, bunların sistemin dış tetiklemelerden bağımsız serbest titreşimine izin verildiğinde, sistemin doğal özellikleri olduklarının vurgulanması içindir. Sistem doğrusal olduğundan, bu titreşim özellikleri, başlangıç deplasmanı ve hızından bağımsızdır (Chopra, 2001).

Sönümsüz sistem, u_0 maksimum deplasmanı ve $-u_0$ minimum deplasmanı arasında bir ileri bir geri titreşmektedir. Bu iki deplasman değerlerinin büyüklükleri de aynı olup, hareketin genliği olarak isimlendirilir ve (4.12) bağıntısıyla hesaplanır.

$$u_0 = \sqrt{[u(0)]^2 + \left[\frac{\dot{u}(0)}{\omega_n} \right]^2} \quad (4.12)$$

u_0 genliği, başlangıç deplasmanına ve hızına bağlı olup, titreşim hareketi devir üstüne devir yapsa da, hep aynı kalmaktadır. Bu da, hareketin devam ettiğini, bitmediğini göstermektedir.

4.2.2 Sönümlü Serbest Titreşim

Tek serbestlik dereceli sistemleri dış etkilerin olmadığı durumda statik denge konumundan uzaklaştırmaya bırakıldığında bir titreşim yapar. Dış bir zorlama ($P(t)=0$) olmamasına rağmen sönüm ($c \neq 0$) olmadığı için hareket Sönümlü Serbest titreşim hareketi olarak tanımlanır.

Böyle bir durumda ilk dengenin bozulduğu an; $u = u(0)$, $\dot{u} = \dot{u}(0)$ olarak tanımlandığında hareketin genel denklemi

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = 0 \quad (4.13)$$

Eşitliğin tümünü m böldüğümüzde ise eşitlik aşağıdaki gibi olur

$$\ddot{u} + 2\zeta\omega_n \dot{u} + \omega_n^2 u = 0 \quad (4.14)$$

Burada sistemdeki sönümü tanımlamak için sönüm oranı (sönüm faktörü ve kritik sönüm de denir) denen bir oran kullanılır. Sönüm oranı sönümün birimsiz ölçüsü olup, sistemin hem kütlesine hem de rijitliğine bağlı bir özelliktir. (Chopra, 2001).

Bu oran sistemdeki gerçek sönümün, kritik sönüme ulaşması için gereken sönüm oranıdır. Kütle yay sönüm modeli için sönüm oranı (ζ) formülü (4.16.) nolu eşitlikte verilmiştir.

$$c_{cr} = 2m\omega_n = 2\sqrt{km} = \frac{2k}{\omega_n} \quad (4.15)$$

$$\zeta = \frac{c}{2m\omega_n} = \frac{c}{c_{cr}} \quad (4.16)$$

Sönüm faktörü, yapının boyutlarından veya yapısal elemanların ebatlarından hesap edilemez ve bu faktör daha önceden yapılmış olan deney sonuçlarının idealize edilmesiyle bulunur. Deformasyon genliğine bağlı olarak sönüm katsayısının değişeceği bilinmesine rağmen, dinamik analizlerde bu doğrusal olmayan davranış

ihmal edilir. Bunun yerine, çoğunlukla yapının doğrusal elastik davranış bölgesinden alınan beklenen deformasyon genliğine karşılık gelen sönüm katsayısı seçilir (Chopra, 2001).

4.2.3 Hareket Çeşitleri

c_{cr} sönüm katsayısı, c sönümünün titreşimi tamamen önleyen en küçük değeri olduğundan, kritik sönüm katsayısı olarak adlandırılır. Bu katsayı, ayrıca titreşim yapan ve yapmayan hareket arasındaki belirleyici kriterdir (Chopra, 2001).

a) Kritik Sönümlü Hareket :

$c = c_{cr} = 2m\omega$ yani $\zeta = 1$ olması ile ortaya çıkar. Sistem denge pozisyonuna titreşim yapılmadan denge durumuna gelir.

b) Kritik Sönüm Üstü Hareket :

Bu tür hareket $c > c_{cr}$ yani $\zeta > 1$ olması ile ortaya çıkar. Gene sistem denge pozisyonuna titreşim yapmadan gelir ancak daha düşük bir oranda gerçekleşir.

c) Kritik Sönüm Altı Hareket :

Bu tür hareket, $c < c_{cr}$ ise yani $\zeta < 1$ olması ile ortaya çıkar. Verilen ilk deplasman ile sistem salınım yapmaya başlar ve belli bir süre sonra genlikler azalarak sistem ilk denge konumuna geri gelir. Hareketin bu durumu gösteren örnek deplasman zaman cevabı Şekil 4.1'de görülmektedir.

Sönümlü sistemin açısal frekansı

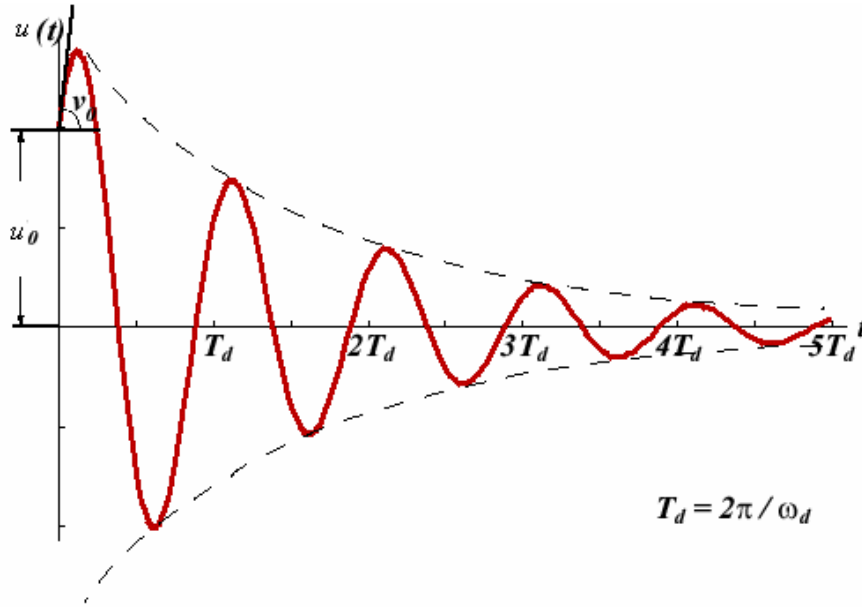
$$\omega_D = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (4.17)$$

ile hesaplanır. Sönümlü sistemin açısal periyodu ise

$$T_D = \frac{T_n}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \quad (4.18)$$

ile hesaplanır.

(2.18) ifadesinde, $T_D = 2\pi/\omega_D$, sönümlü sistemin doğal periyodu ile, T_n , sönümsüz sistemin doğal periyodu arasındaki bağıntı verilmiştir. Sönüm, doğal frekans ω_n 'ni ω_D 'ye düşürerek; doğal periyodu T_n 'den T_D 'ye artırır. Sönümün bu etkisi, %20'den küçük sönüm oranları için ihmal edilebilir (Chopra, 2001). Çoğu yapıların geçerli sönüm bölgesinin %20'den küçük olması sebebi ile bu bölgede çeşitli ζ sönüm oranlarında, $\omega_D/\omega_n = T_n/T_D$ eşitliği yazılabilir. Çoğu yapılarda, ω_D ve T_D sönüm özellikleri, sırasıyla ω_n ve T_n sönümsüzlük özelliklerine yaklaşık olarak eşittir.



Şekil 4. 1 Kritik Sönüm Altı Serbest Titreşim Hareket Grafiği

Sönümlü Serbest titreşim hareketinde daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, sönümlü serbest titreşimin $u(0)$ ve $\dot{u}(0)$ şeklinde bir başlangıç yerdeğiştirmesi ve hızı ile meydana geldiği kabul edilirse, sönümlü serbest titreşimin zamana bağlı çözümünü kullanarak

$$u(t) = \frac{\dot{u}(0)}{\omega_n} + u(0) \cos \omega_n t \quad (4.19)$$

elde edilir. Bu formül kullanılarak

$$u(t) = e^{-\zeta\omega_n t} \left[u(0) \cos \omega_D t + \left(\frac{\dot{u}(0) + \zeta\omega_n u(0)}{\omega_D} \right) \sin \omega_D t \right] \quad (4.20)$$

elde edilir.

4.2.4 Hareketin Azalması

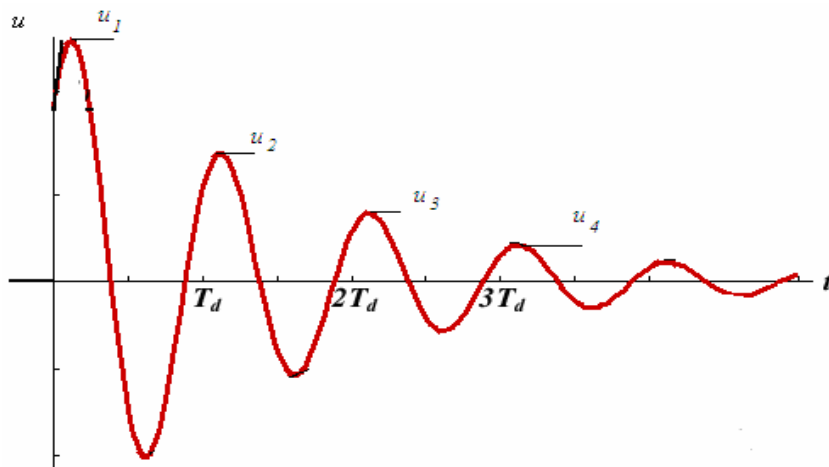
Tek serbestlik dereceli sistemlerin sönümlü serbest titreşimlerinin deplasman zaman cevabı bir önceki bölümde anlatılmıştır. Sönümlü titreşim hareketi denge konumuna azalan genlikler ile gelmektedir (Taşkın ve Yağız, 2005). Bir çevrimdeki en büyük genlik, $\sin \omega_D t$ 'in bire eşit olduğu durumda oluşur. Genliğin oluştuğu t ve takip eden $t + T_D$ anlarında genliğin oranı;

$$\frac{u(t)}{u(t + T_D)} = e^{(\zeta\omega_n T_D)} = e^{\left(\frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)} \quad (4.21)$$

olur. Bu eşitlik aynı zamanda birbirini takip eden 2 başarılı pik T_D periyodu ile gerçekleştiği için

$$\frac{u(i)}{u(i+1)} = e^{\left(\frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)} \quad (4.22)$$

Şeklinde yazılabilir ve grafiği Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 2 Kritik Sönüm Altı Serbest Titreşim Hareketi Genlik Azalımı Grafiği

Yukarıda verilen eşitliğin doğal logaritmasının alınmasına Logaritmik azalma denir ve bunu δ ile gösteririz.

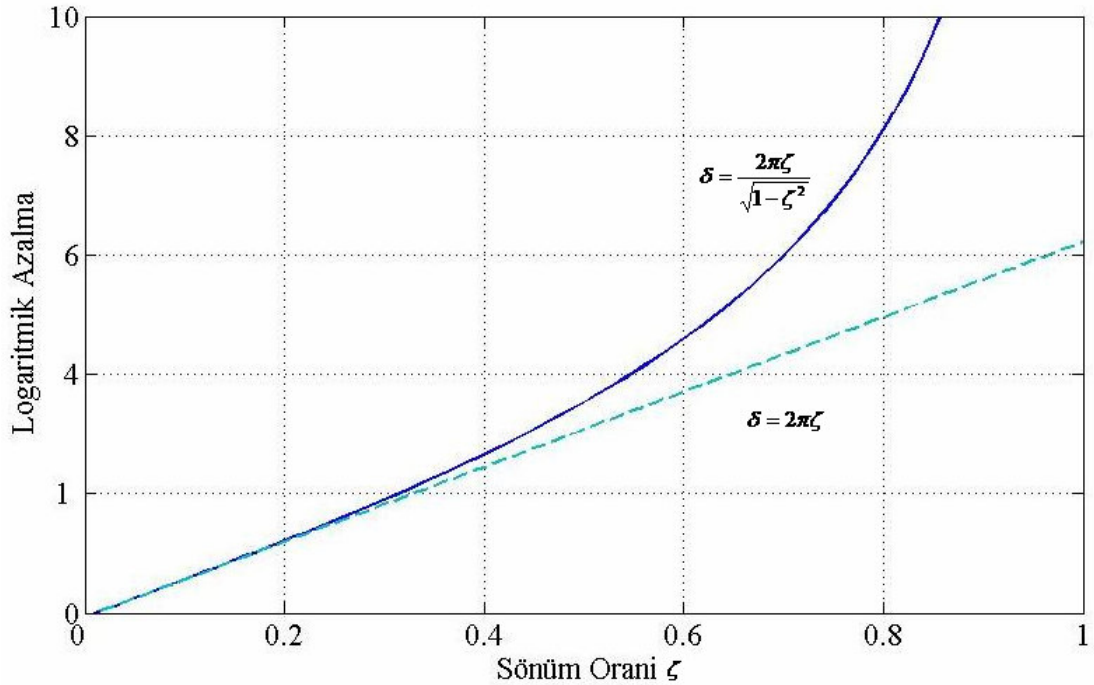
$$\delta = \ln \frac{u(i)}{u(i+1)} = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (4.23)$$

ile hesaplanır ve grafiği Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

Eğer ζ çok küçük ise $\sqrt{1-\zeta^2} \cong 1$ olur ve aşağıdaki denklemi oluşturur

$$\delta = 2\pi\zeta \quad (4.24)$$

$$\delta = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (4.25)$$



Şekil 4. 3 Logaritmik Azalma Metodu ile Sönüm Oranı Belirlemesi

Harekette azalmanın yavaş olduğu yani sönüm oranının düşük olduğu sistemlerde sönüm oranı için birbirini takip eden 2 başarılı pik yerine birkaç çevrimden sonra genliklerin oranlanması ile bulunması tercih edilir.

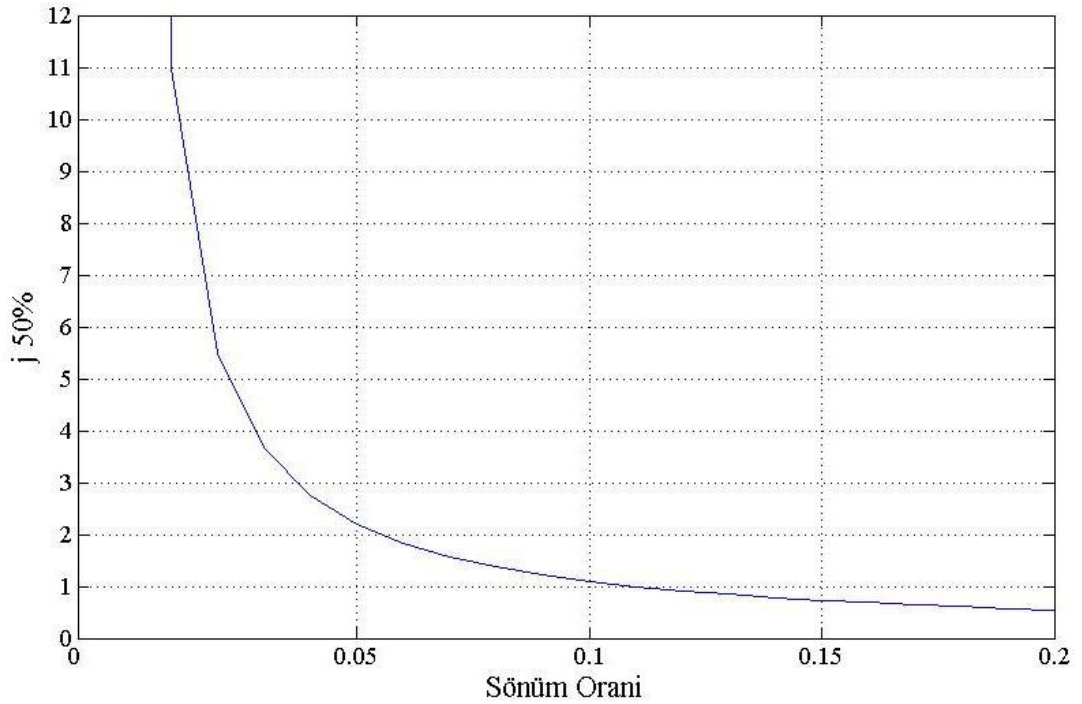
$$\frac{u_1}{u_{j+1}} = \frac{u_1}{u_2} \frac{u_2}{u_3} \frac{u_3}{u_4} \dots \frac{u_j}{u_{j+1}} = e^{j\delta} \quad (4.26)$$

Böylece

$$\delta = \frac{1}{j} \ln \frac{u_1}{u_{j+1}} \cong 2\pi\zeta \quad (4.27)$$

Genlikte %50 azalmayı sağlayan çevrim sayısı yukarıdaki formülden aşağıdaki denklem ile hesaplanır. Serbest titreşimin genliğinin %50 azalması için gerekli olan çevrim sayısı grafiği Şekil 4.4'de verilmiştir.

$$j_{50\%} \cong \frac{0.11}{\zeta} \quad (4.28)$$

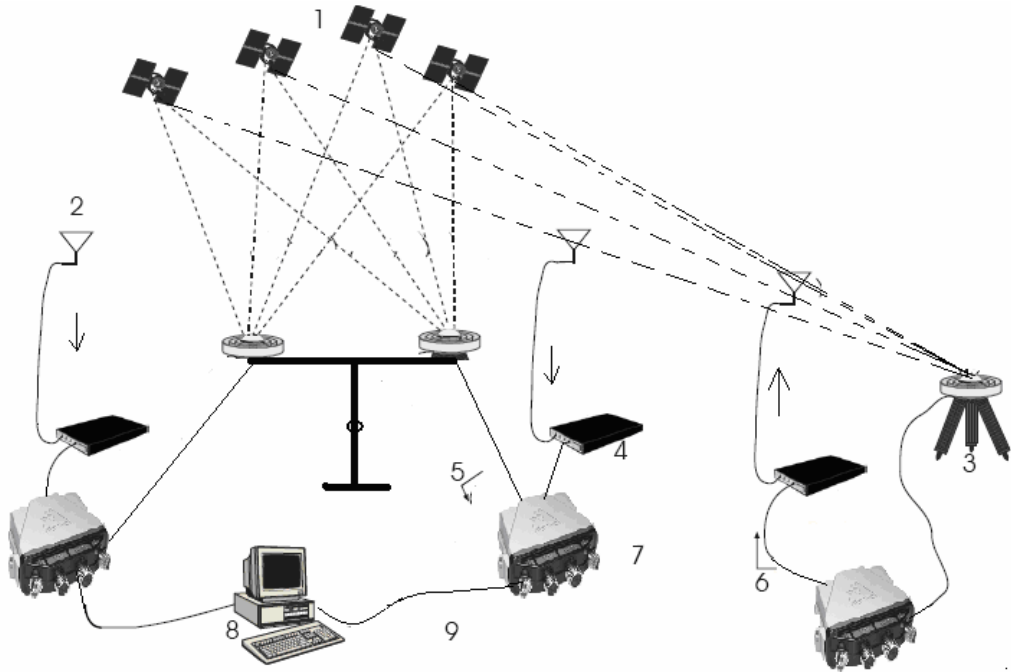


Şekil 4. 4 Titreşimin Genliğinin %50 Azalması için Gerekli Çevrim Sayısı Grafiği

5. TESTLERİN YAPIM YÖNTEMİ

Bu çalışmada, uzun periyotlu yapıların modellendiği prototip tepe noktasından belirli bir ilk deplasman verilerek, prototipin yapmış olduğu gerçek dinamik hareketin, gerçek zamanlı kinematik ölçüm yapabilen GPS ile kayıt altına alınarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Test modeli değişik yapı özelliklerini yansıtabilmesi için değişik ağırlıklar eklenecek ve değişik yükseklikler izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Böylece gerçek zamanlı ölçümler her bir modelin üzerinde ayrı ayrı yapılarak modellerin pratikte yaptığı hareket belirlenecektir. Bu değişik yükseklik ve ağırlık kombinasyonlarını içeren modellerin yaptığı gerçek hareket, tek serbestlik dereceli sistemin sönümlü serbest titreşimlerinin deplasman-zaman cevabı ile karşılaştırılacak ve deneysel sonuçların, teorik sonuçlar ile uyumu incelenecektir.

Testlerin yapılabilmesi için aşağıda şematik olarak gösterilen düzenek hazırlanmıştır.



Şekil 5. 1 Şematik Prototip Düzenegi

Referans	Tanım
1	GPS Ağı
2	Radyo Data Hattı
3	GPS Anteni
4	Modem
5	Fark Düzeltme Girdisi
6	Fark Düzletme Çıktısı
7	GPS Alıcısı
8	Base İstasyonu
9	Gezici İstasyon

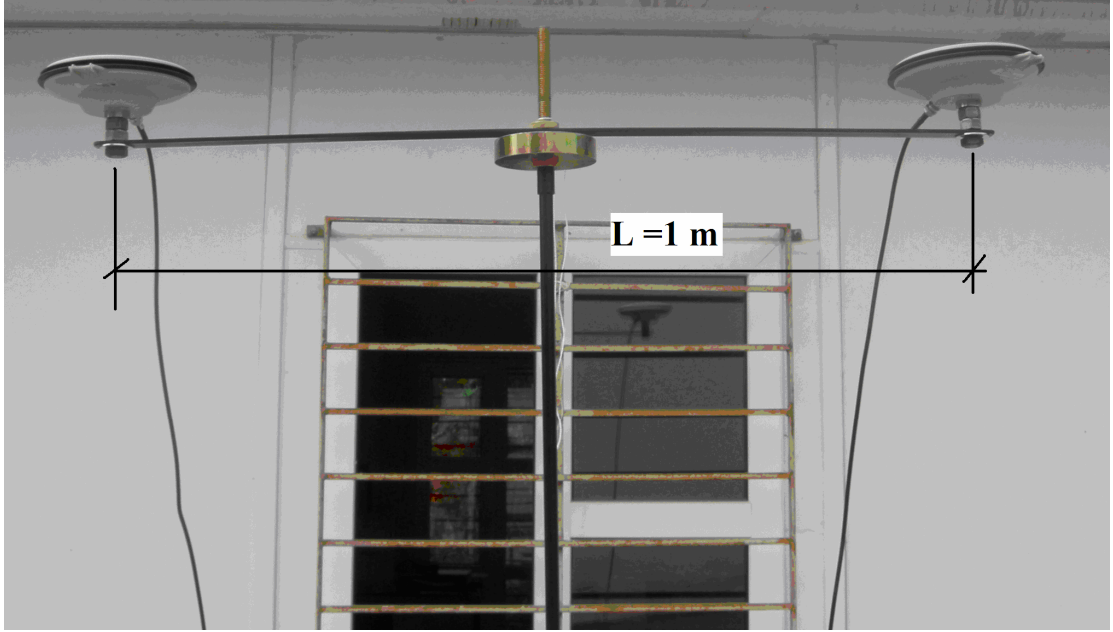
5.1 Prototip

Çalışma sırasında uygulanan prototip 1'er metrelik 5 adet çubuk elemandan ve 5 adet 2 kg. ağırlığında Şekil 3.2'de görüleceği gibi diskten oluşmaktadır. Disk Şekil x.x 'de görülmektedir. Çubuk elemanların birbirine geçmeli olarak hazırlandığı bu prototip 1 metreden 5 metreye kadar değişik yüksekliklerde ve 2 kg dan 10 kg kadar olan ağırlıklarda farklı modelleri oluşturmaya imkan vermektedir. Çubuklar, çapı $D= 16$ mm olacak şekilde çelikten 1 m net uzunlukta üretilmiştir.



Şekil 5. 2 Ağırlık Diskleri

Prototipte GPS aletlerine bağlanacak GPS Antenleri Şekil 5.3’de görüleceği gibi şekilde yatayda 1 m uzunluğundaki platform üzerine yerleştirilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede GPS ile yapılan ölçümler sonucunda iki anten arasındaki mesafe hesaplanarak bu 1 metrenin doğrulaması yapılmaya imkan tanımıştır.



Şekil 5. 3 GPS Antenlerinin Yerleştirildiği 1m Uzunluğunda Platform

5.1 GPS Aletleri ve Diğer Ekipmanlar

Novatel FlexPak marka GPS alıcısı ile Novatel antenleri ölçüm noktalarının koordinatları saptamak üzere kullanılmıştır. Bu marka GPS alıcısı yüksek performanslı bir alıcı olup 12 GPS uydusuna kadar L1(1575,42 MHz) C/A Kodu ve ve L2(1227,6 MHz) taşıyıcı fazı ve L2 P Kodunda veri alma ve takip etme özelliğine sahiptir (Novatel OEM4,2004). Bu alıcılar 20 Hz hızında işlenmemiş veri ve pozisyon sonucu belirleme kapasitesindedir. Kullanılan GPS aleti Şekil 5.4’de gösterilmiştir.



Şekil 5. 4 Novatel Marka GPS Alıcısı

Şekil 5.5 görülen GPS antenleri ise GPS uyduları tarafından yayınlanan elektromanyetik dalgalarını radyo frekansı sinyallerine çevirmek için gereklidir.



Şekil 5. 5 Novatel Marka Anten

Alıcıya yapacağı talimatları göndermek ve kayıtları alabilmek için gerekli alet ile iletişim kurulması gerekmektedir. Bu nedenle bir şekilde veri iletim ekipmanına bağlanmasına ihtiyaç vardır. Bu veri iletim ekipmanı olarak Şekil 5.6'de yer alan Satel marka modem kullanılmıştır.



Şekil 5. 6 Satel Marka Veri İletim Ekipmanı (Modem)

5.2 Test Çeşitleri

Bu tez çalışmasında testler 2 m ve 3 m olmak üzere 2 değişik yükseklikte ve 2 kg ve 6 kg olmak üzere 2 değişik ağırlık kombinasyonunda toplam 4 değişik testler ile gerçekleştirilmiştir.

Dinamik hareketin net ve kullanılabilir bir şekilde belirlenmesi için GPS aleti saniyede 20 kayıt (Hz) alabilecek şekilde ayarlanmıştır ve buna uygun yazılım kullanılmıştır.

Testlerin uygulanması esnasında her bir düzenek için sisteme Şekil 5.7'de görüleceği gibi bir deplasman verilerek, yaklaşık 30 dakika bu deplasman ile bekleme durumunda kalınmıştır. 30 dakikanın sonunda sistemin deplasman yapmasını sağlayan, ip kesilmiş olup sistemin serbest titreşim yapması sağlanmıştır. Serbest titreşim sonucunda Şekil 5.8'de görülen denge durumuna gelmesi ile yaklaşık 30 dakika daha bu denge durumunda beklenilmiştir. Tüm süreçler sırasında prototipin üstünde yer alan, 1m'lik platforma yerleştirilen GPS antenleri aracılığı ile GPS aletleri konumlama bilgilerini kayıt altına almıştır. Her biri yaklaşık 1 saat süren testler sonucunda veriler herhangi bir filtreleme işlemine gerek kalmadan değerlendirilmiş ve sistemlerin dinamik hareket grafikleri oluşturulmuştur.



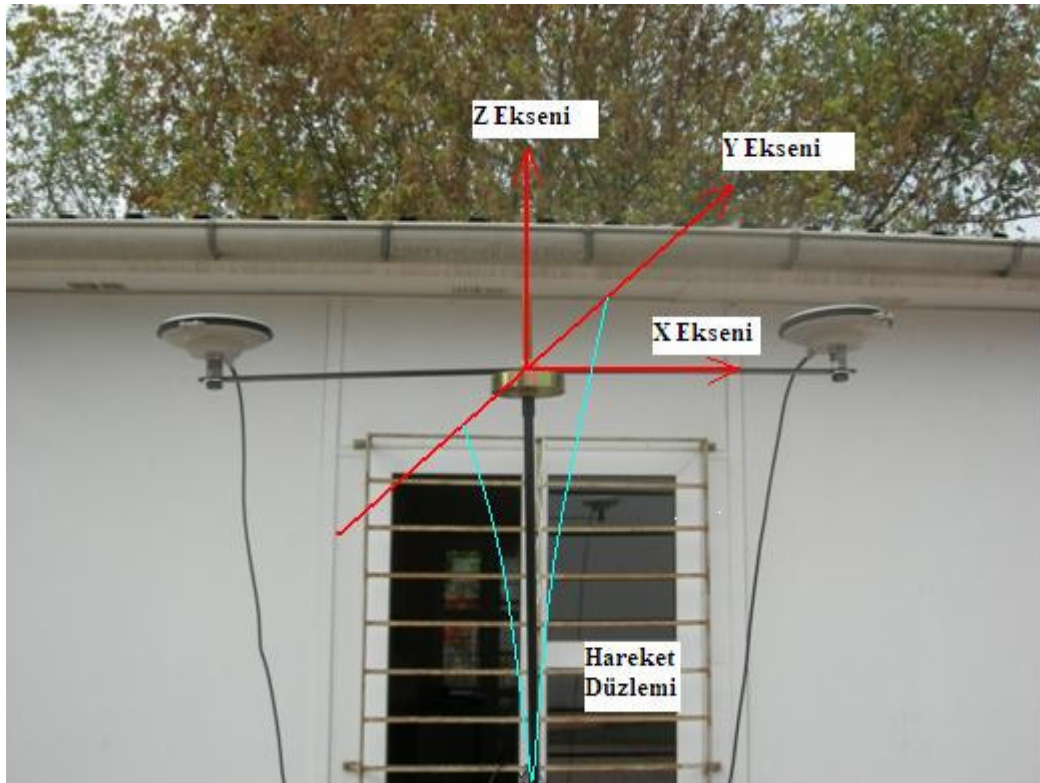
Şekil 5. 7 Deplasman Verilmiş Test Düzeneği



Şekil 5. 8 Denge Durumunda Test Düzeneği

6. ARAŞTIRMA BULGULAR

Bu prototipte yapılan tüm model testlerinin sonuçlarının doğruluğunun ispatı için önce gerçek zamanlı kinematik GPS aletinin ölçüm doğruluğunun teyit edilmesi gereklidir. Bu nedenle, prototip bir metrelik çelik çubuğun uçlarına 2 adet GPS antenleri monte edilecek şekilde tasarlanmıştır. Her iki GPS aletinden X,Y,Z nokta koordinatlarını içeren kayıtlar alınmaktadır. Şekil 6.1’de koordinat eksenleri şematik olarak gösterilmiştir. Bu alınan verilerdeki koordinat farklarından iki nokta arası mesafe her kayıt anına göre hesaplanarak, iki GPS anteni arasındaki gerçek mesafe farkı olan 1 metrenin bulunması gerekmektedir. 13 Aralık 2007 tarihinde yaklaşık 10 saat süresince GPS aletleri ile yapılan ölçümler ve kayıtlar sonucunda iki GPS aleti arasındaki mesafe her bir test düzeneği için (6.1)’de verilen bağıntı ile hesaplanmış ve tüm bu değerler Şekil 6.2, 6.3, 6.4, 6.5’de gösterilmiştir. Toplam 4 adet test yapılmıştır. Tüm bu kayıt ve hesaplama sonuçları Ek 1’de verilmiştir.



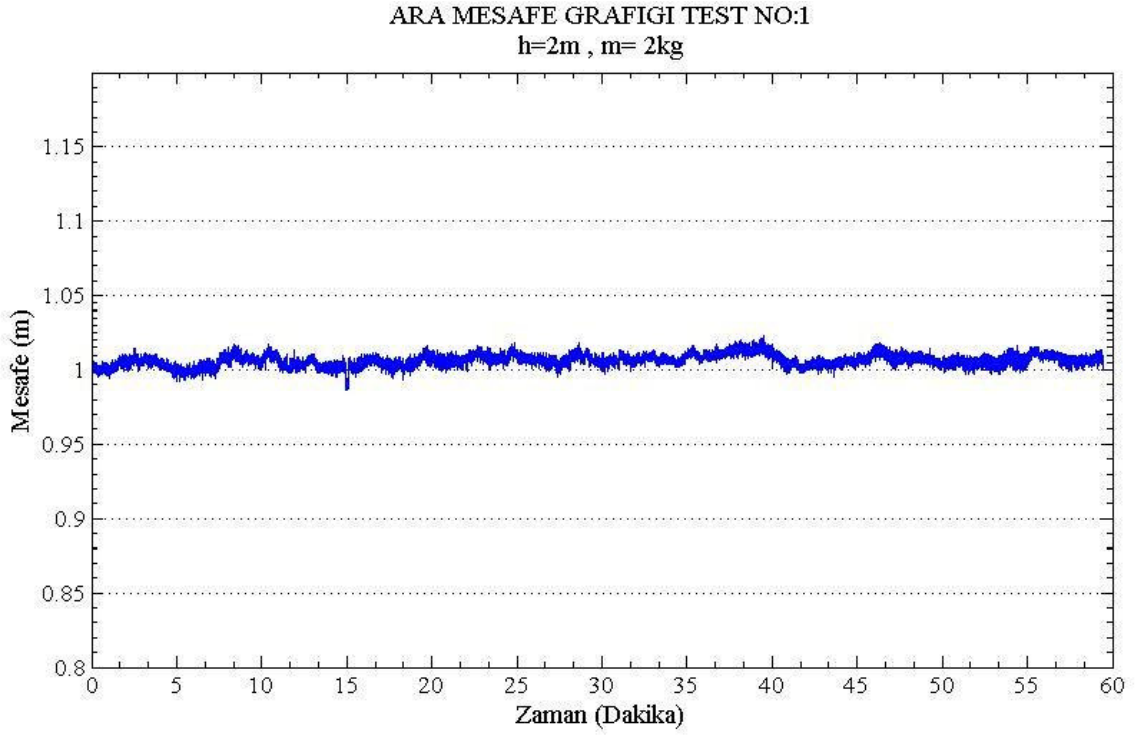
Şekil 6. 1 Koordinat Eksenleri

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (6.1)$$

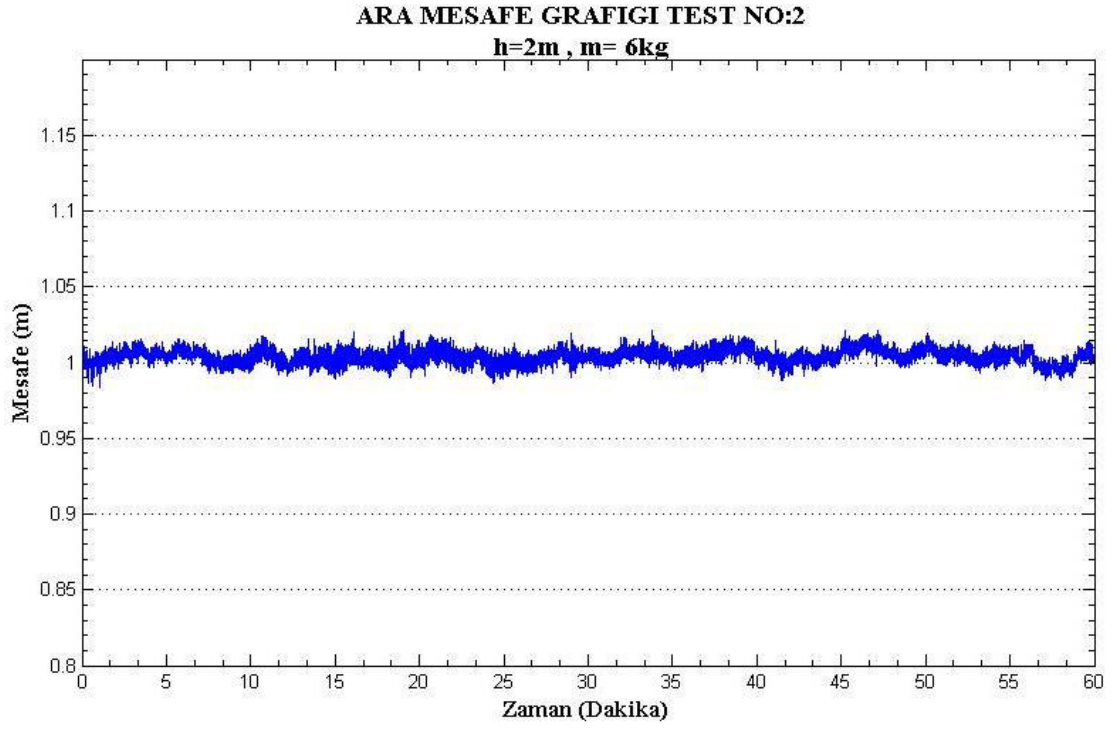
Şekil 6.2 , 6.3 , 6.4 ve 6.5'de görüleceği gibi iki 2 GPS aleti arasındaki gerçek mesafe ile kayıtlardan hesaplanan değerler yaklaşık olarak doğru sonucu vermektedir. Verilerin standart sapması Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

TEST NO	Standart Sapma
1	0,4558 cm
2	0,4489 cm
3	0,4174 cm
4	0,5326 cm

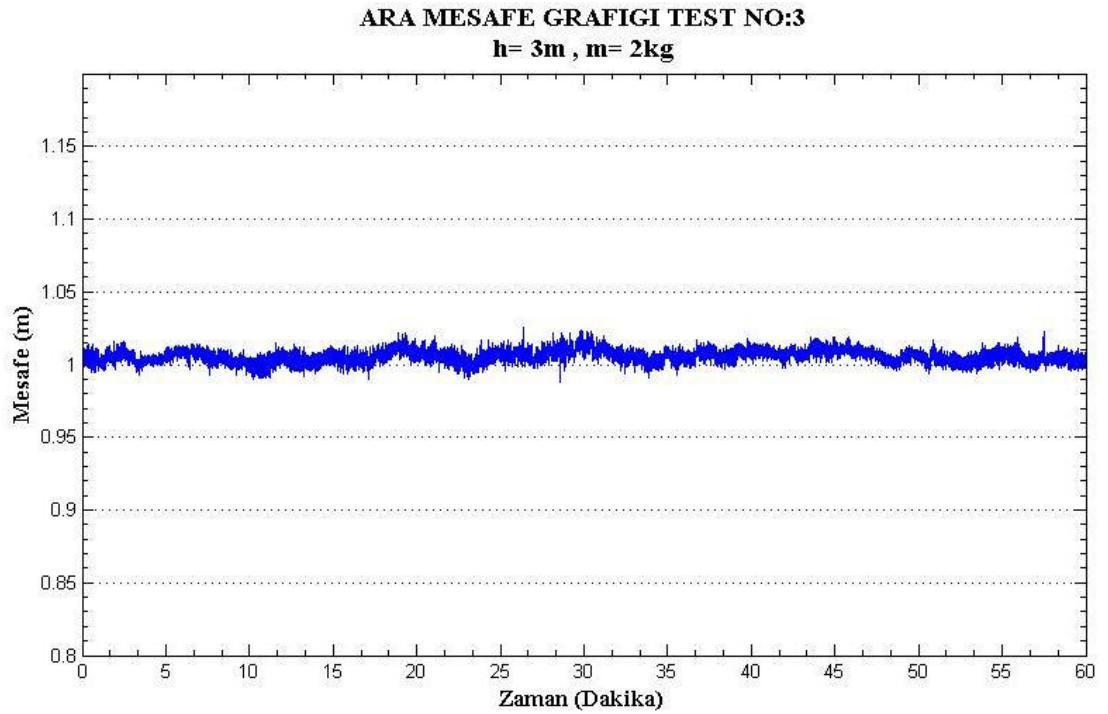
Tablo 6. 1 Standart Sapma Tablosu



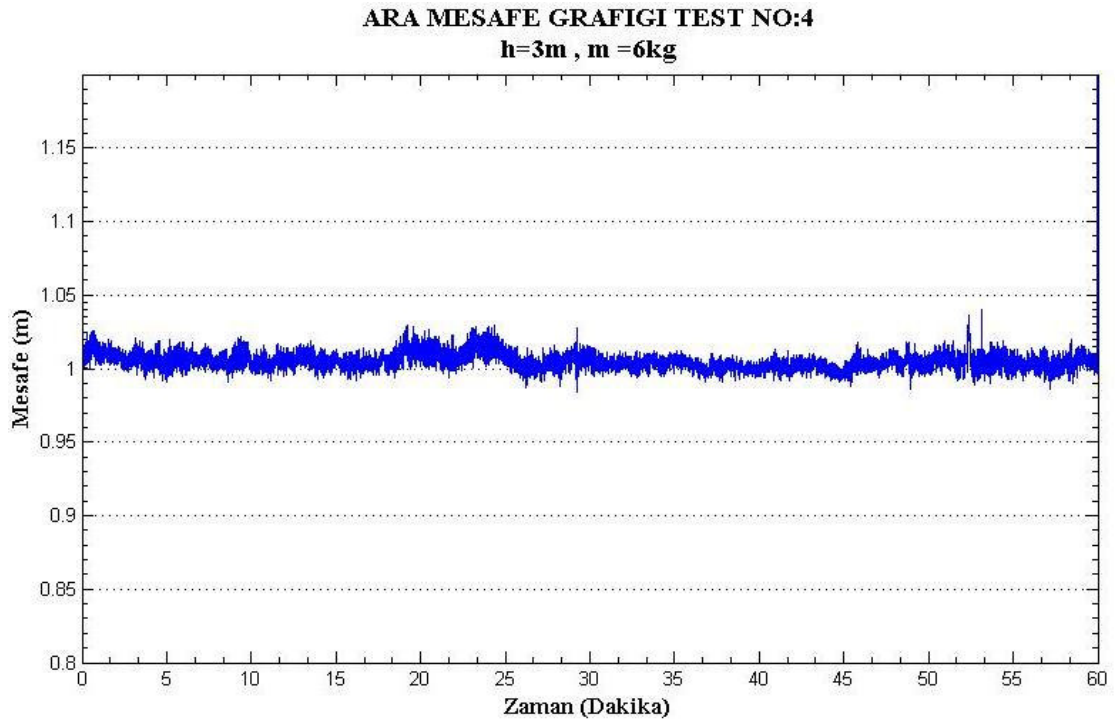
Şekil 6. 2 GPS Antenleri Arası Mesafe Grafiği (Test No:1)



Şekil 6. 3 GPS Antenleri Arası Mesafe Grafiği (Test No:2)



Şekil 6. 4 GPS Antenleri Arası Mesafe Grafiği (Test No:3)



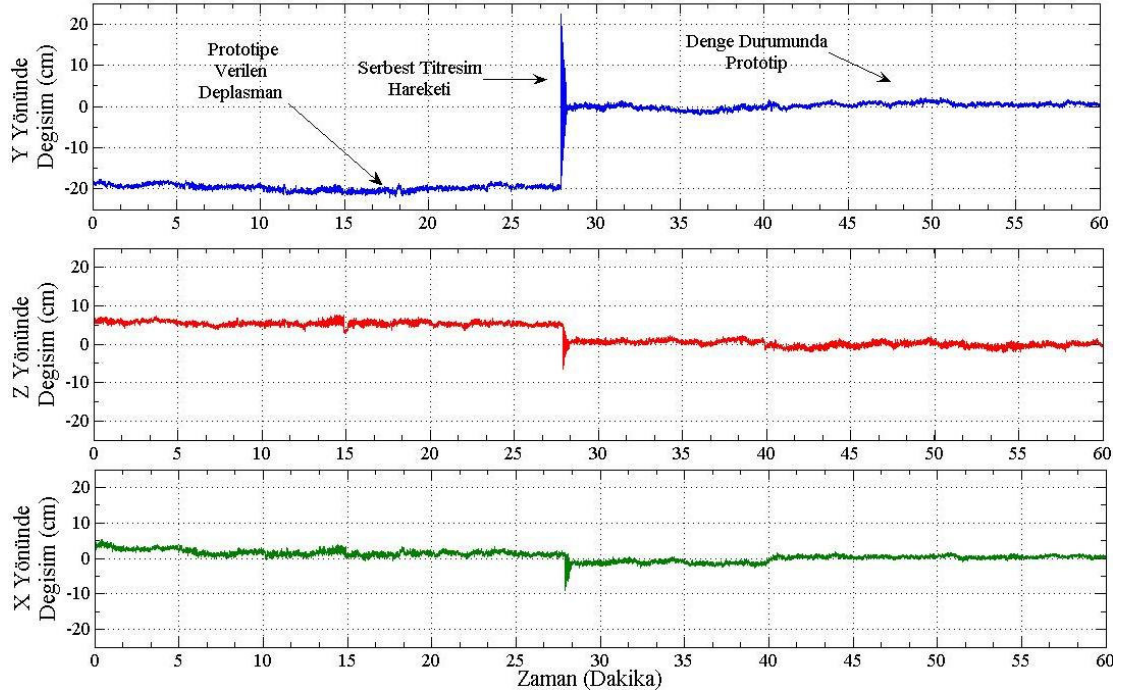
Şekil 6. 5 GPS Antenleri Arası Mesafe Grafiği (Test No:4)

6.1 Testlerin Yapılması

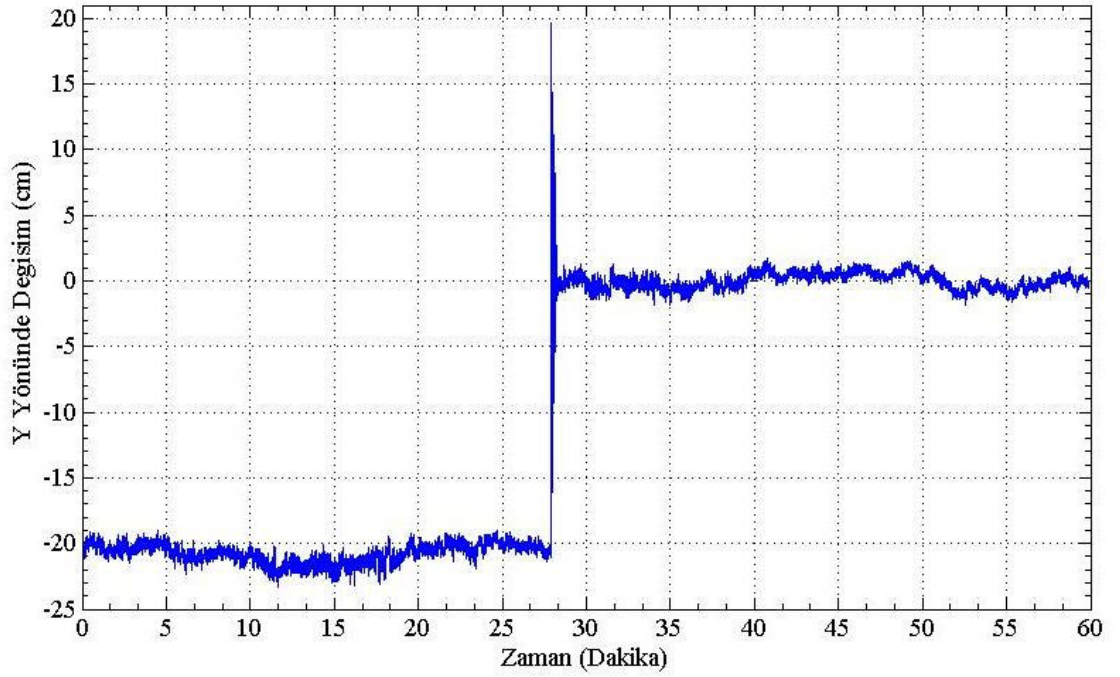
Test 1

1. Testte yüksekliği 2m olan prototip 2 kg ağırlık takılarak yapılmıştır. İlk deplasman olarak 20,38 cm deplasman verilerek, ip yardımı ile sabitlenmiştir. Yaklaşık 28 dakika sonra kesilen ip ile sistem serbest titreşim yapmaya başlamıştır. 21 sn titreşim yaptıktan sonra sistem denge durumuna gelmiş ve yaklaşık 30 dakika daha ölçüm alınmaya devam edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 grafiklerinde RR1 aleti ve RR2 aleti için alınan pozisyon kayıtları ve serbest titreşim yaptıkları zamana ait yer değiştirmeleri gösterilmiştir.

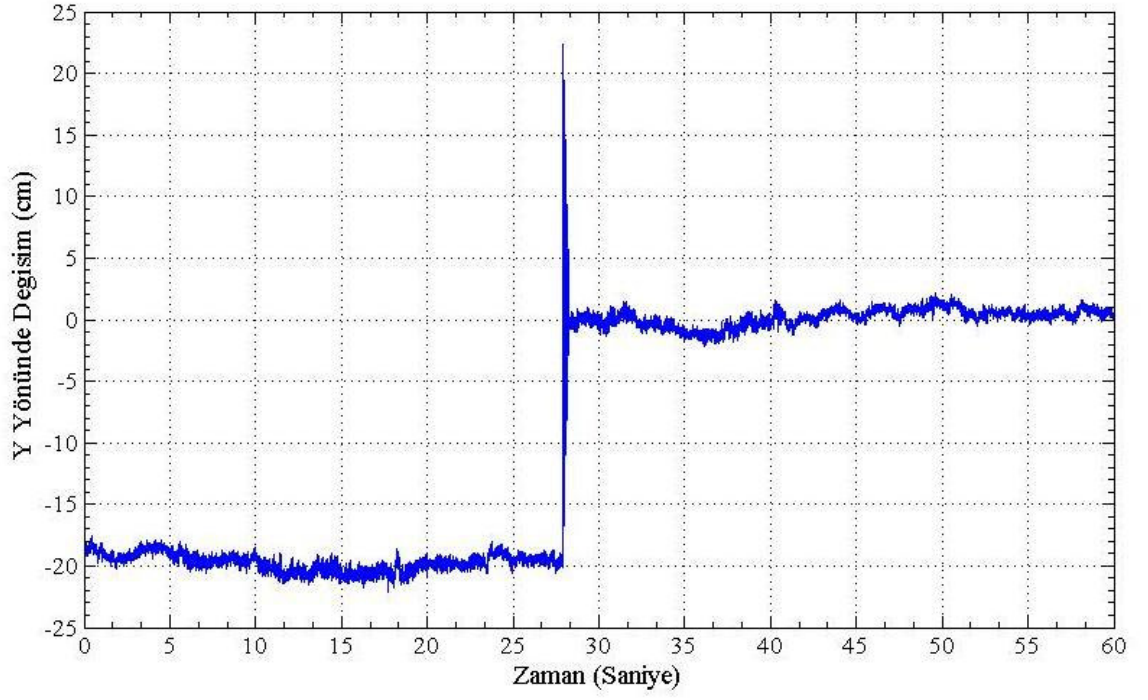
TEST NO:1 (m=2kg; h=2m)



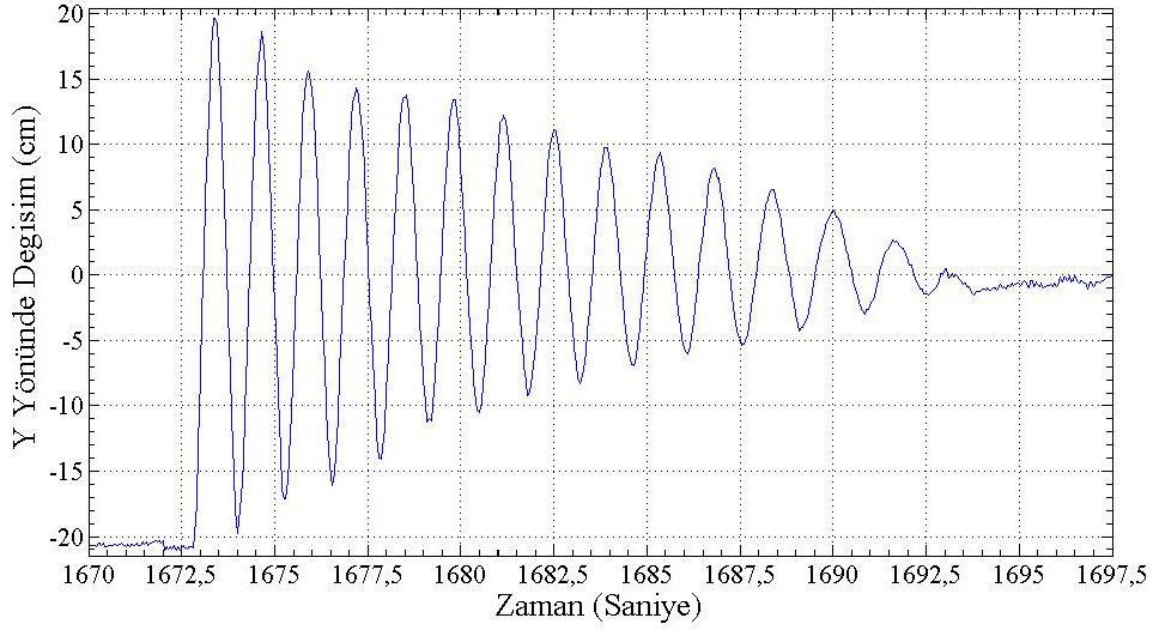
Şekil 6. 6 Her Üç Doğrultuda Zaman Hareket Grafiği Test No:1



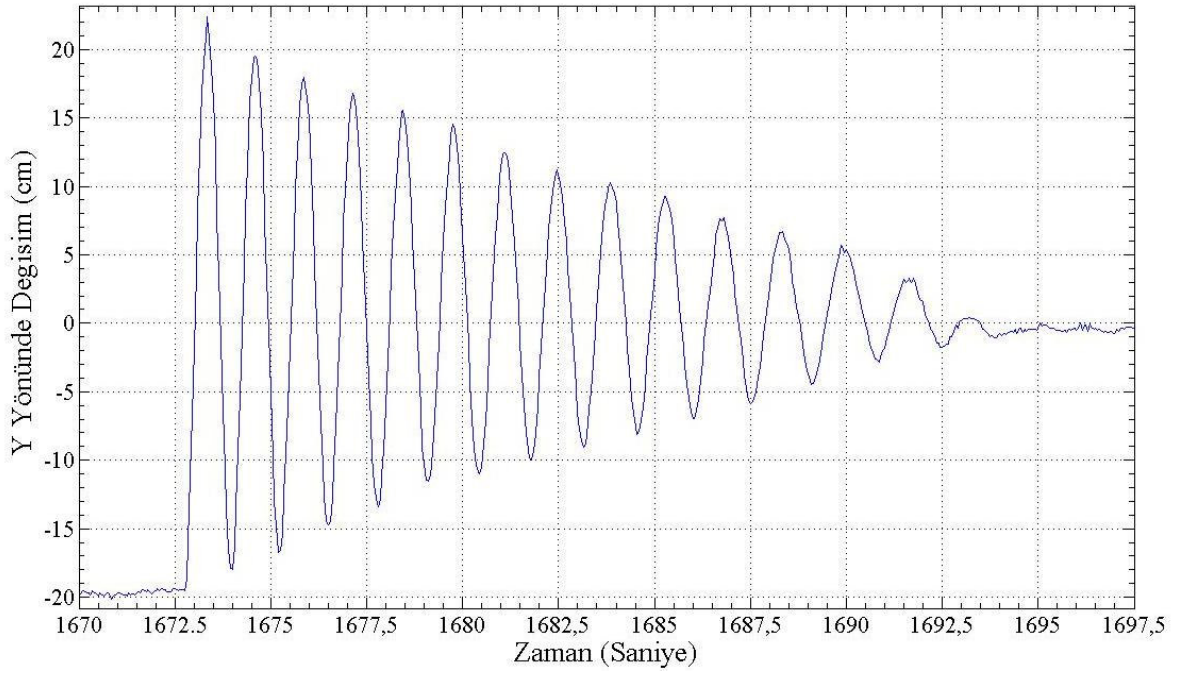
Şekil 6. 7 1 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Deplasmanı (Test No:1)



Şekil 6. 8. 2 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Deplasmanı (Test No:1)



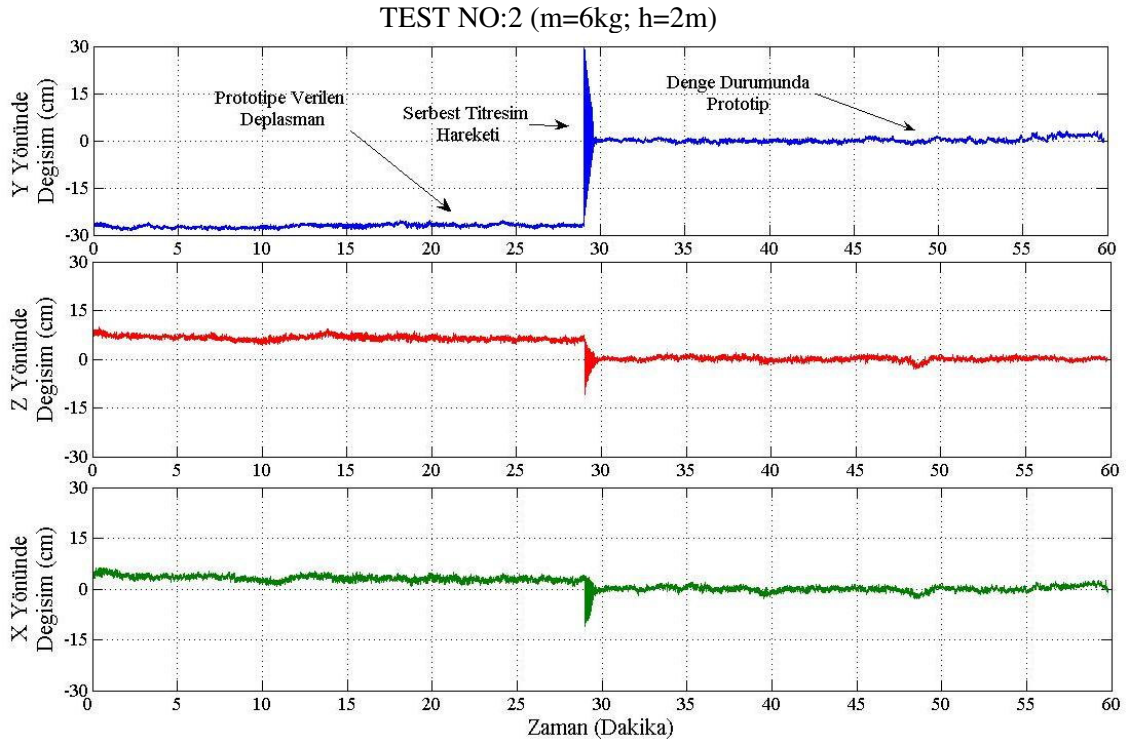
Şekil 6. 9 1 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Serbest Titreşimi (Test No:1)



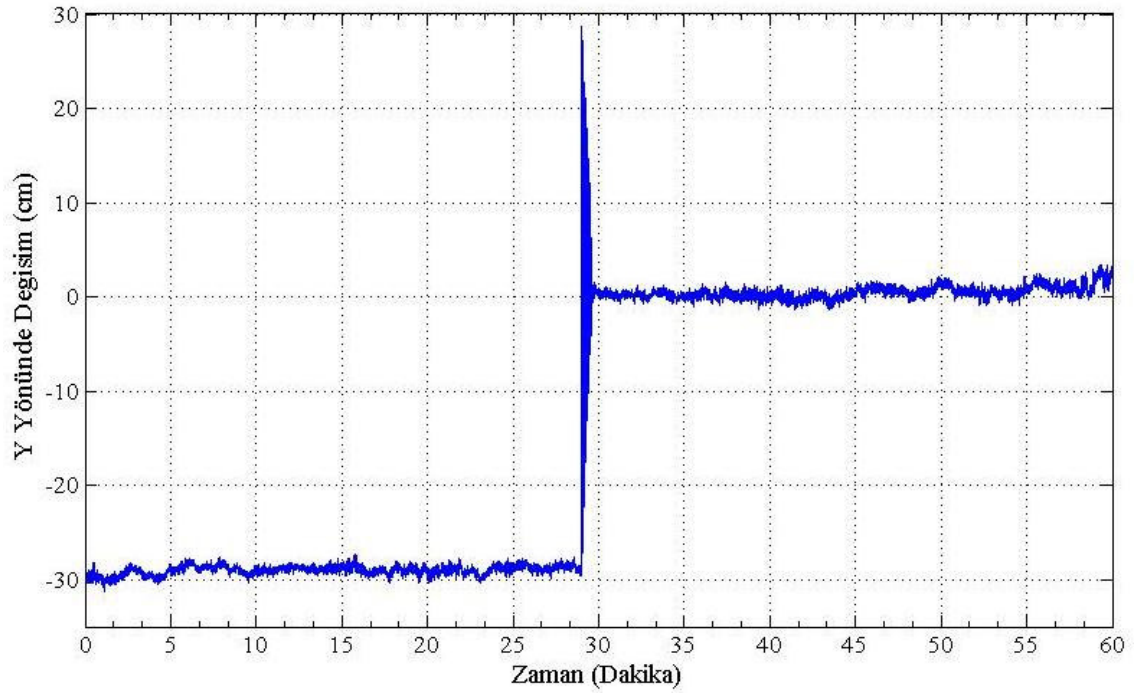
Şekil 6. 10 2 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Serbest Titreşimi (Test No:1)

Test 2

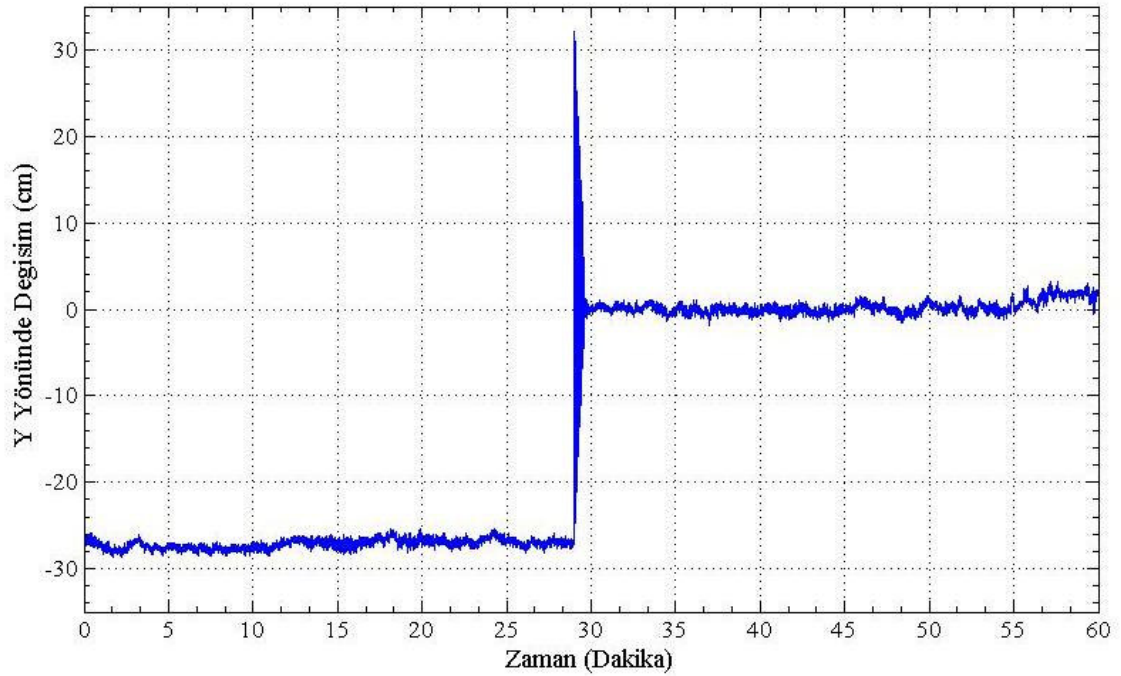
2. Testte yüksekliği 2m olan prototip 6 kg ağırlık takılarak yapılmıştır. İlk deplasman olarak 29,00 cm deplasman verilerek, ip yardımı ile sabitlenmiştir. Yaklaşık 29 dakika sonra kesilen ip ile sistem serbest titreşim yapmaya başlamıştır. 62,60 sn titreşim yaptıktan sonra sistem denge durumuna gelmiş ve yaklaşık 30 dakika daha ölçüm alınmaya devam edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 6.11, 6.12, 6.13, 6.14, 6.15 grafiklerinde RR1 aleti ve RR2 aleti için alınan pozisyon kayıtları ve serbest titreşim yaptıkları zamana ait yer değiştirmeleri gösterilmiştir.



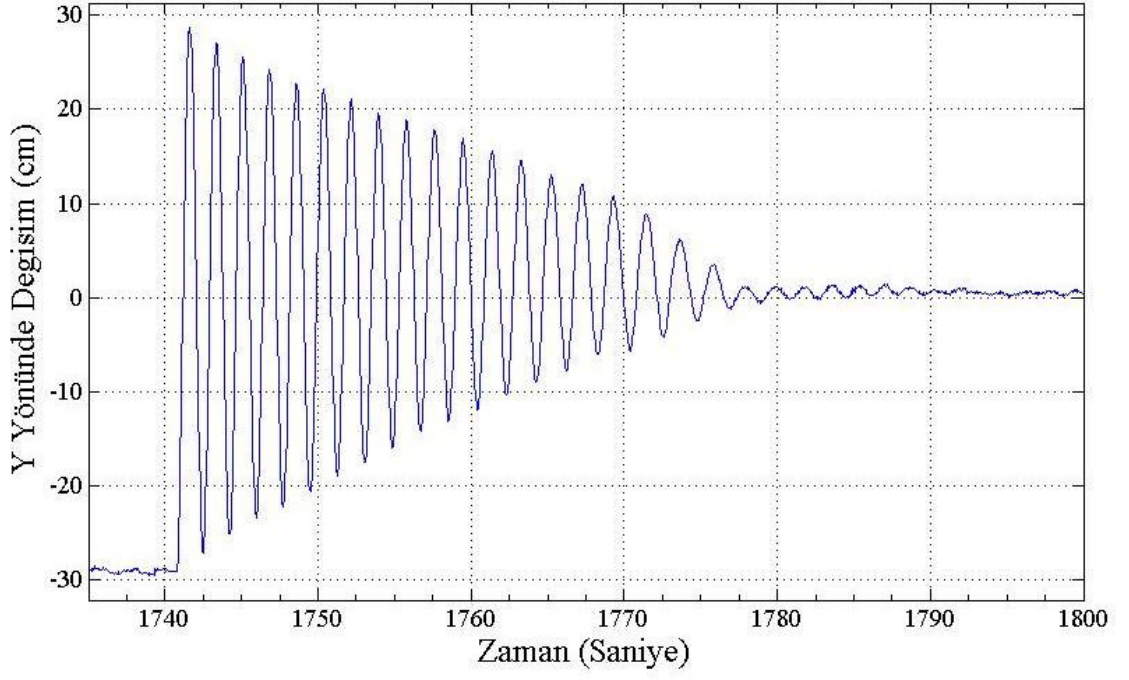
Şekil 6. 11 Her Üç Doğrultuda Zaman Hareket Grafiği Test No:2



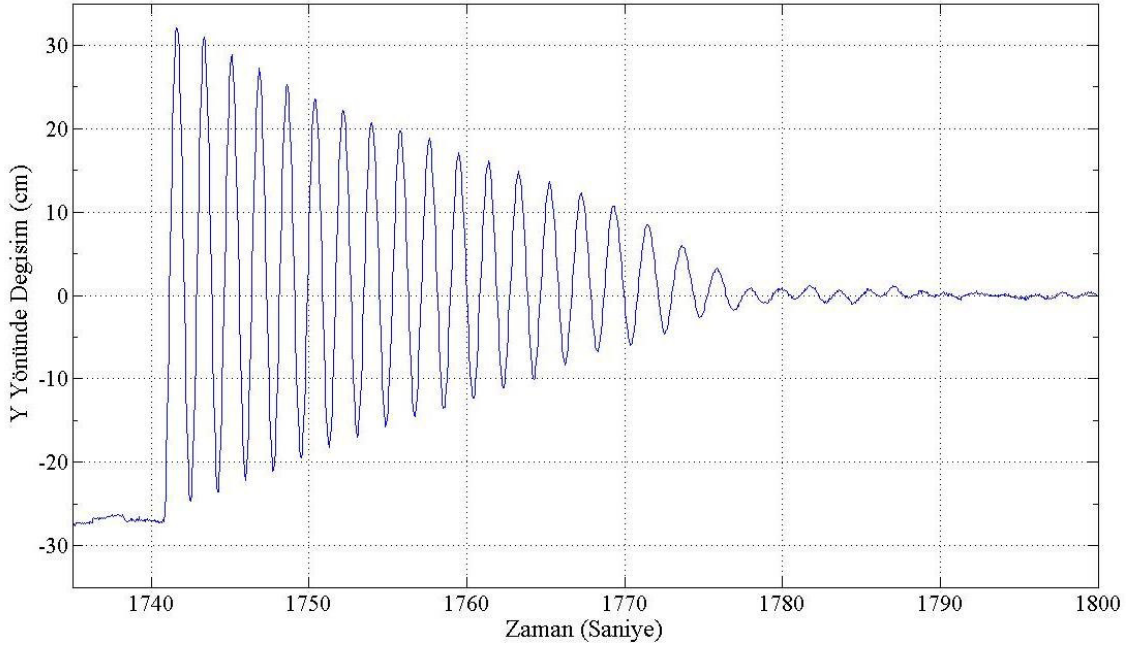
Şekil 6. 12 1 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Deplasmanı (Test No:2)



Şekil 6. 13 2 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Deplasmanı (Test No:2)



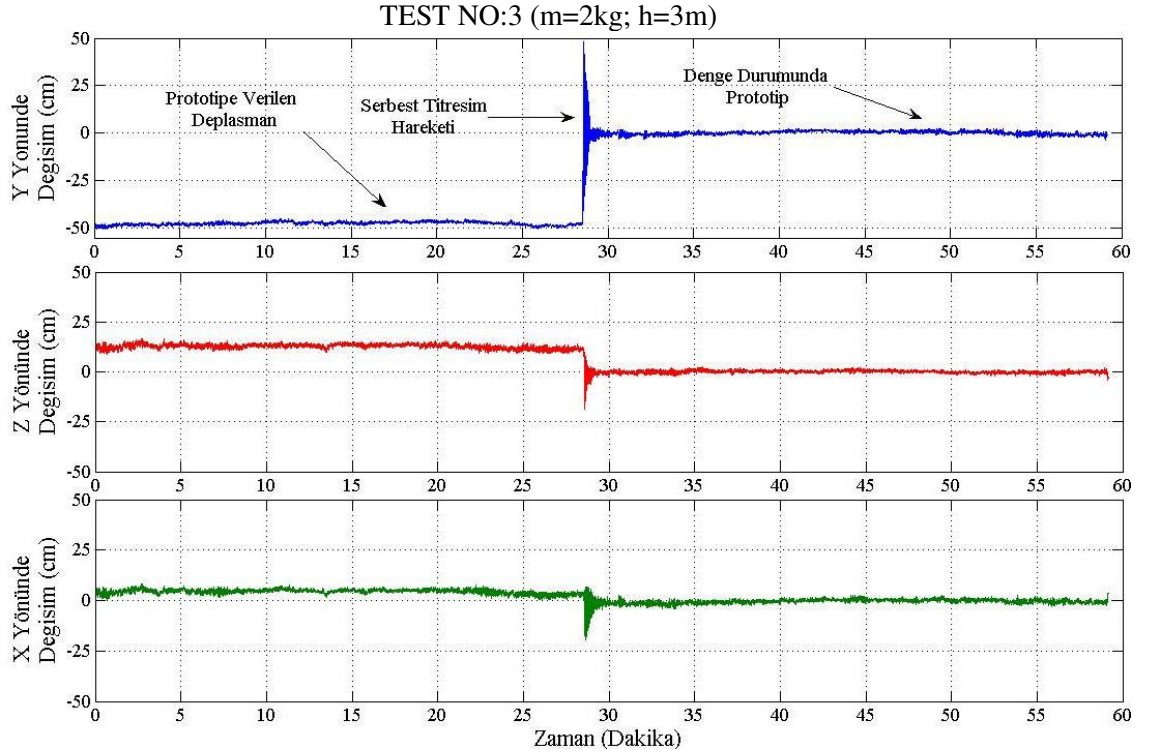
Şekil 6. 14 1 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Serbest Titreşimi (Test No:2)



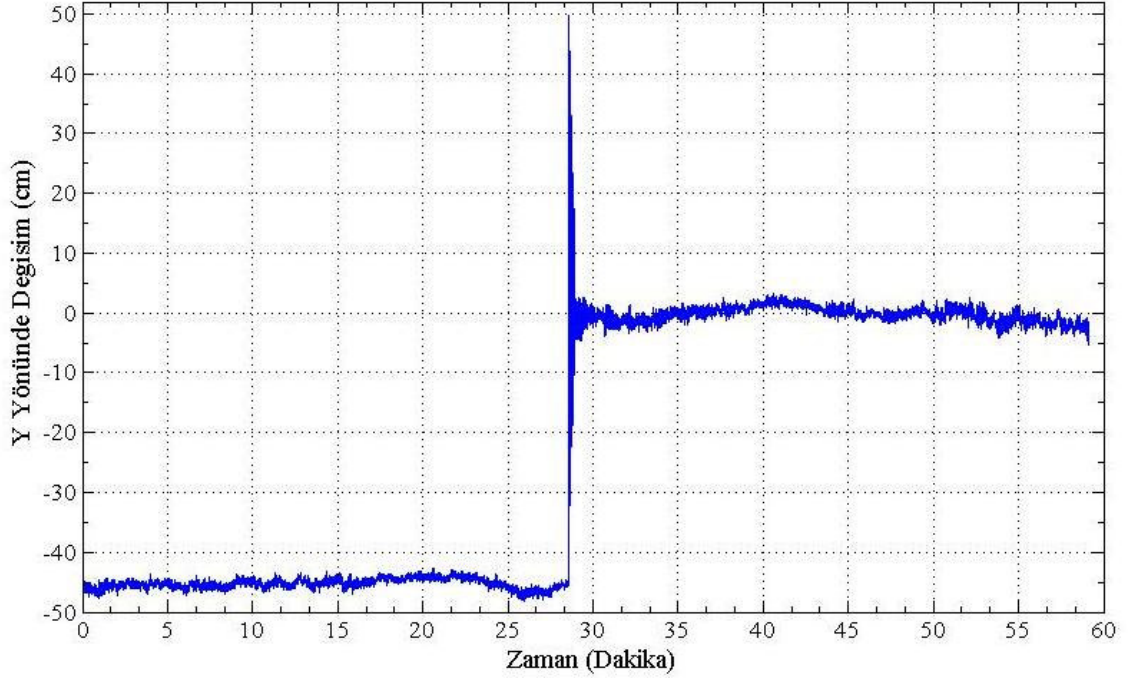
Şekil 6. 15 12 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Serbest Titreşimi (Test No:2)

Test 3

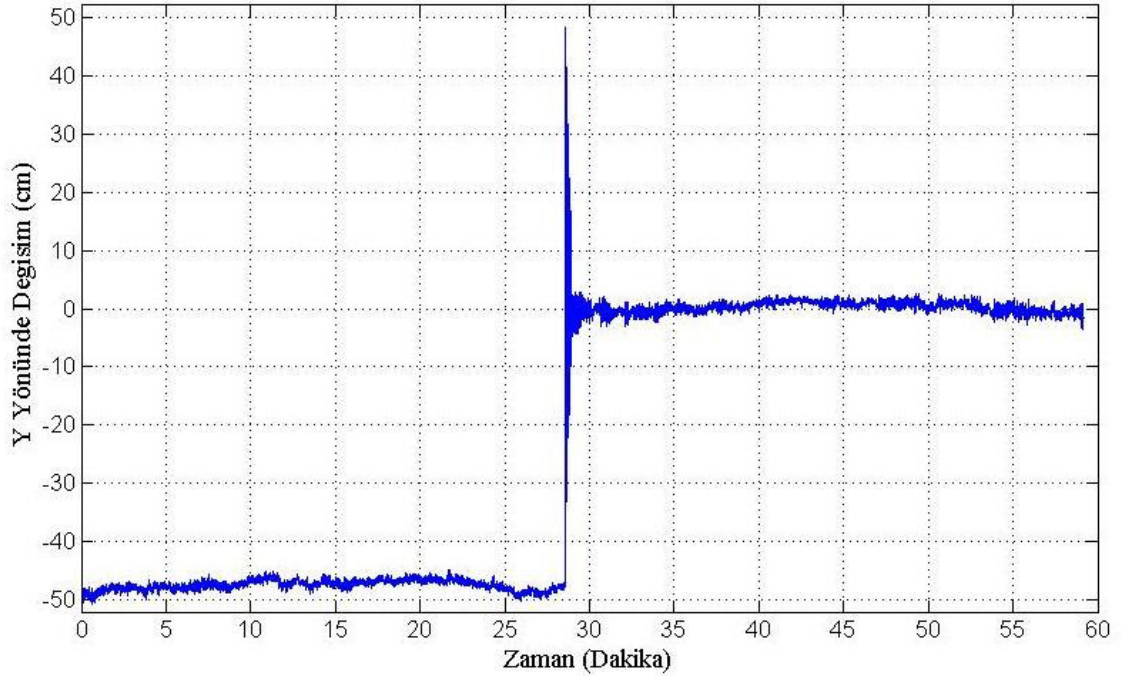
3. Testte yüksekliği 3m olan prototip 2 kg ağırlık takılarak yapılmıştır. İlk deplasman olarak 45,51 cm deplasman verilerek, ip yardımı ile sabitlenmiştir. Yaklaşık 29 dakika sonra kesilen ip ile sistem serbest titreşim yapmaya başlamıştır. Sistem serbest titreşim yaptıktan sonra denge durumuna gelmiş ve yaklaşık 30 dakika daha ölçüm alınmaya devam edilmiştir. Aşağıdaki şekil 6.16, 6.17, 6.18, 6.19, 6.20 grafiklerinde RR1 aleti ve RR2 aleti için alınan pozisyon kayıtları ve serbest titreşim yaptıkları zamana ait değiştirmeleri gösterilmiştir.



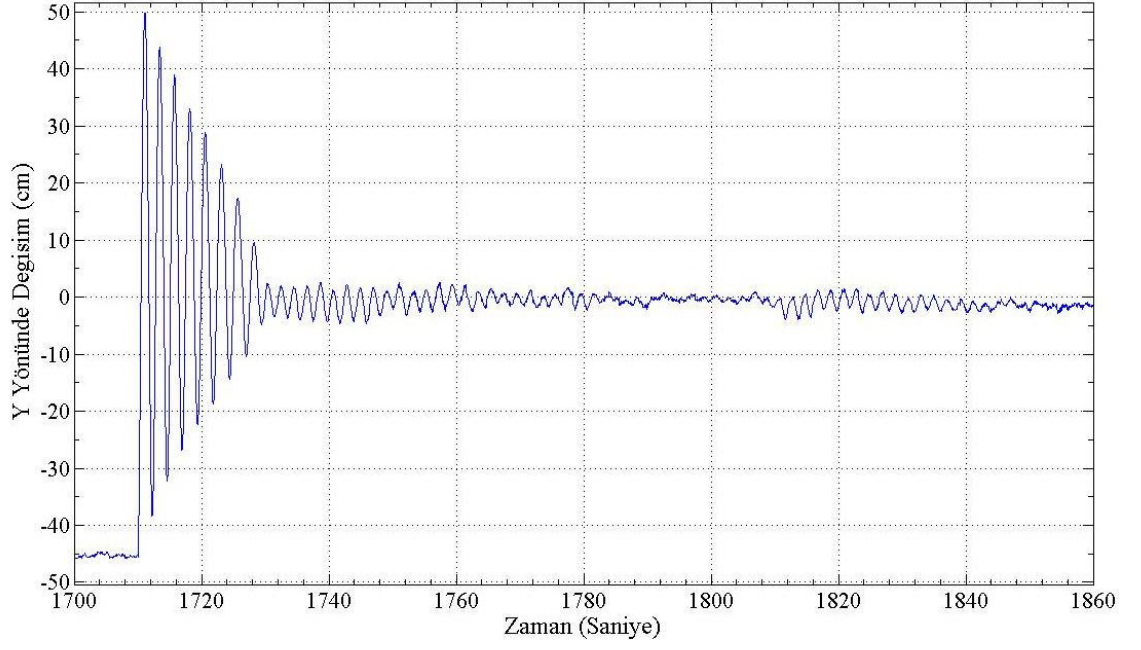
şekil 6. 16 Her Üç Doğrultuda Zaman Hareket Grafiği Test No:3



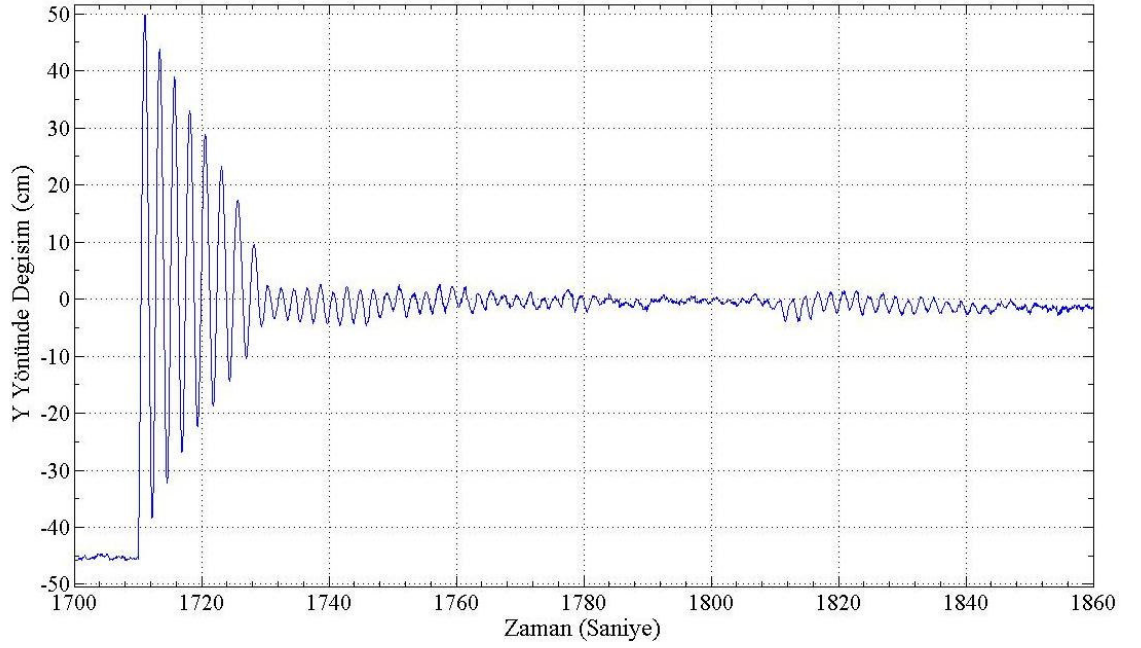
Şekil 6. 17 1 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Deplasmanı (Test No:3)



Şekil 6. 18 2 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Deplasmanı (Test No:3)



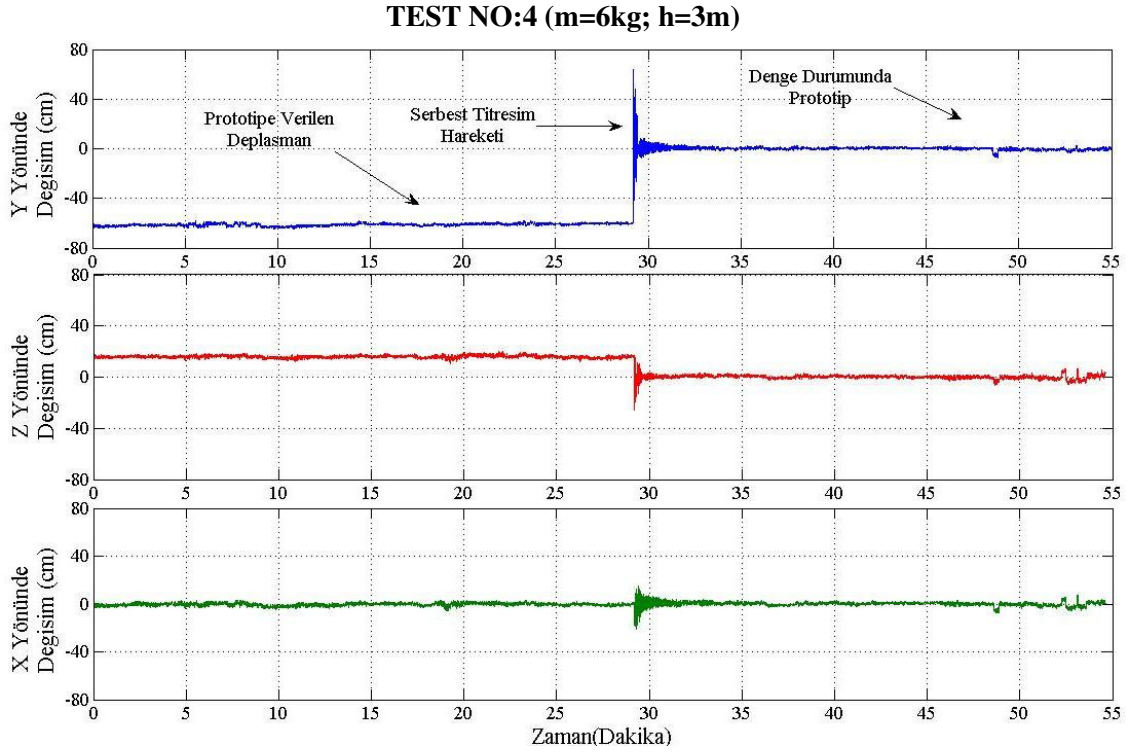
Şekil 6. 19 1 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Serbest Titreşimi (Test No:3)



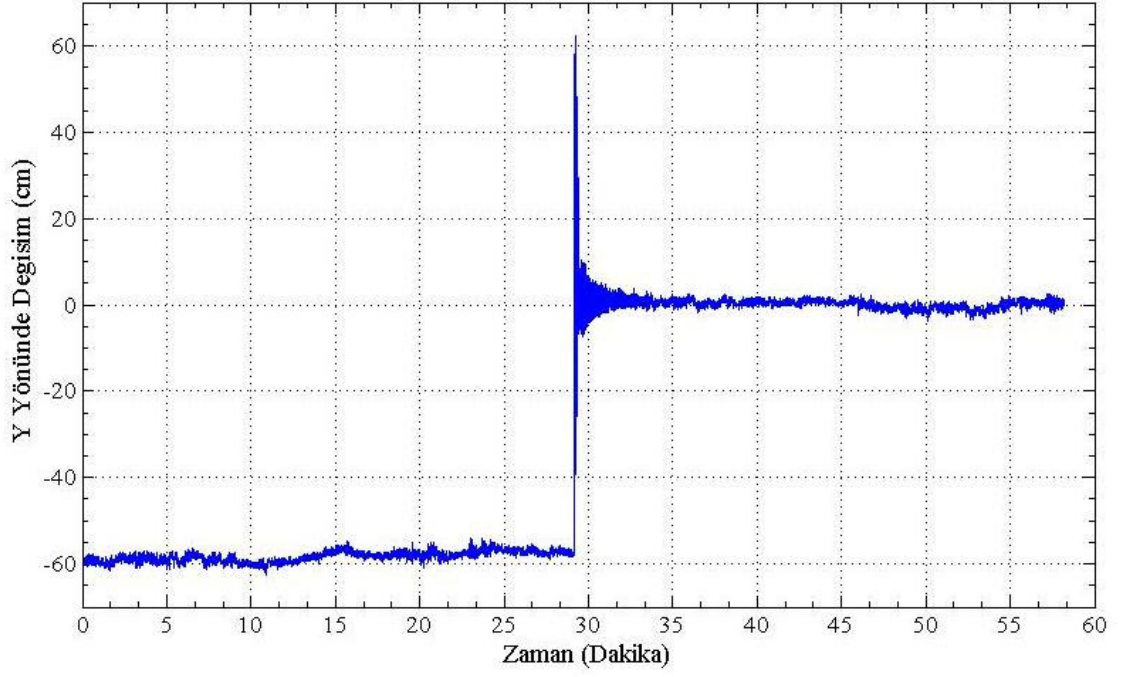
Şekil 6. 20 2 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Serbest Titreşimi (Test No:3)

Test 4

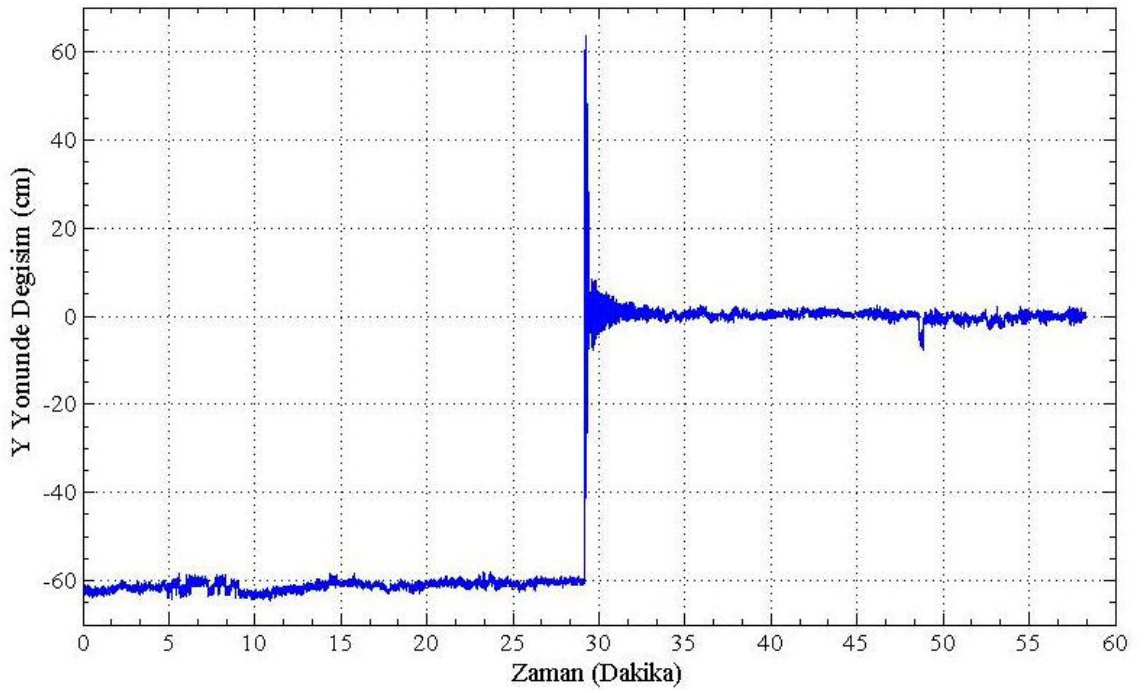
1. Testte yüksekliği 3m olan prototip 6 kg ağırlık takılarak yapılmıştır. İlk deplasman olarak 57,15 cm deplasman verilerek ip yardımı ile sabitlenmiştir. Yaklaşık 29 dakika sonra kesilen ip ile sistem serbest titreşim yapmaya başlamıştır. Sistem titreşim yaptıktan sonra denge durumuna gelmiş ve yaklaşık 30 dakika daha ölçüm alınmaya devam edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 6.21, 6.22, 6.23, 6.24, 6.25 grafiklerinde RR1 aleti ve RR2 aleti için alınan pozisyon kayıtları ve serbest titreşim yaptıkları zamana ait yer değiştirmeleri gösterilmiştir.



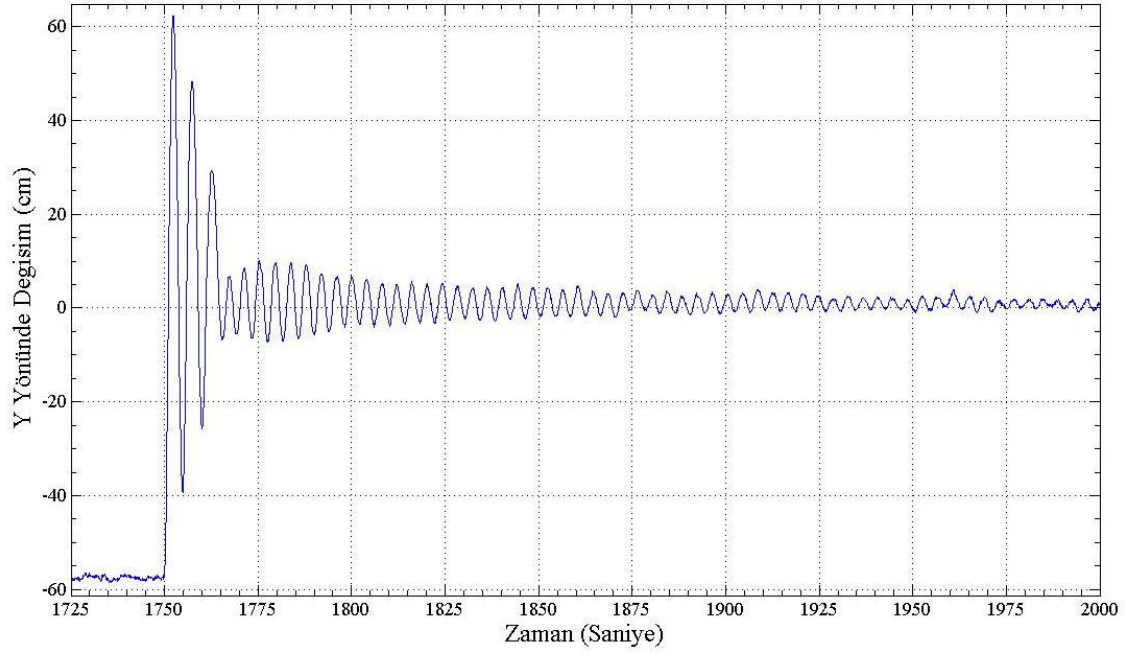
Şekil 6. 21 Her Üç Doğrultuda Zaman Hareket Grafiği Test No:4



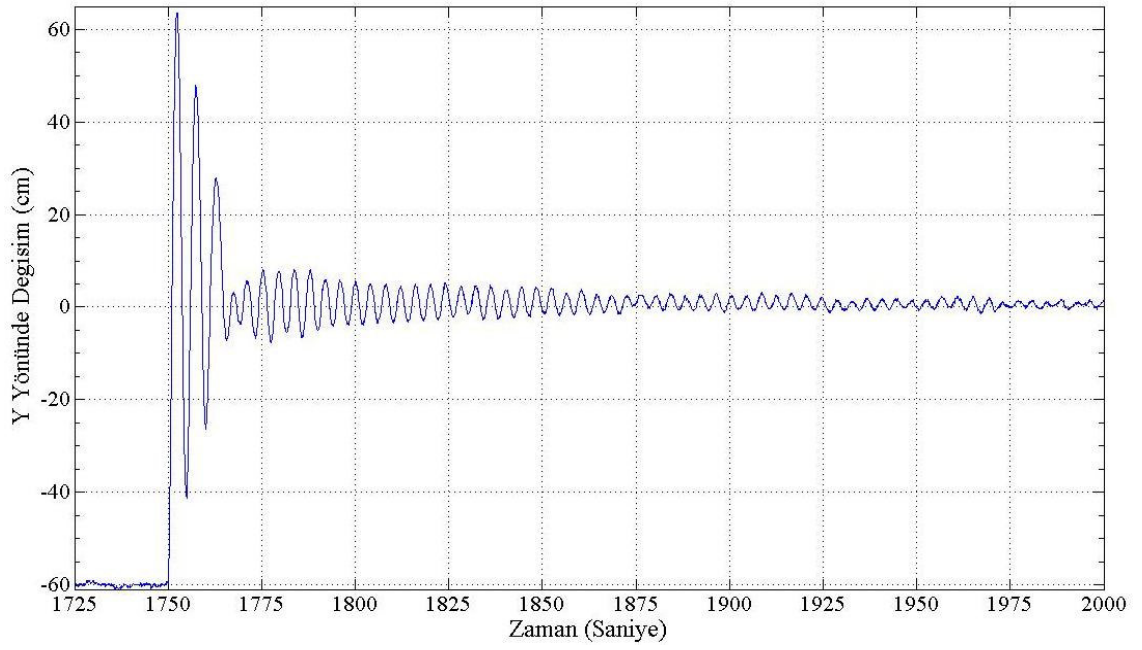
Şekil 6. 22 1 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Deplasmanı (Test No:4)



Şekil 6. 23 2 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Deplasmanı (Test No:4)



Şekil 6. 24 1 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Serbest Titreşimi (Test No:4)



Şekil 6. 25 2 No'lu GPS Aletinin Y Doğrultusunda Serbest Titreşimi (Test No:4)

7. TESTLER İLE TEORİK SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Prototipte oluşturulan değişik modellerin yaptığı gerçek hareket sonuçları, bilgisayar ortamında hesaplanmış tek serbestlik dereceli sistemin sönümlü serbest titreşimlerinin teorik deplasman-zaman cevabı ile karşılaştırılmıştır. Diğer bir ifade ile deneysel sonuçlar teorik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

7.1 Teorik Hesaplamalarda Kullanılan Kabuller

Her bir test modelinin teorik sönümlü serbest titreşim hareketleri bilgisayar ortamında hesaplanmıştır.

Teorik sonuçlar temel olarak formül 4.20 'de verilen eşitliğine dayanarak her bir an için hareketin anlık konum değerini vermek üzere hesaplanmıştır. Test düzenekleri saniyede 20 kayıt (Hz) alabilecek şekilde ayarlandığı için teorik hesaplamalarda da zaman artırımları saniyenin 1/20 si olacak şekilde belirlenmiştir.

Test prototipinin rijitliği, sınır şartlarının ideal olmaması nedeni ile klasik matematik ifadeleri ile tespit edilememektedir. Bu nedenle prototiplerin rijitliği serbest titreşimleri esnasında tutulan ölçümlerden deneysel olarak elde edilmiştir. Bu tarz tek serbestlik dereceli sistemlerin yanal rijitliği teorik olarak

$$k = \frac{3EI}{h^3} \quad (7.1)$$

ile hesaplanır (Akbaş, 2006).

Burada I sistemin çubuk alanını tek yönde yaptığı hareket için dairesel çubuk elemanın atalet momenti (ikinci momenti) olup

$$I = \frac{\pi D^4}{64} \quad (7.2)$$

formülü ile hesaplanır.

Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları na göre çeliğin elastisite modülü $E=2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ olarak alınmaktadır. (TS 500,2000) Çubuk elemanlar 16 mm çapında 1 metre uzunluğunda dolu çelikten imal edilmiştir.

Rijitliğin tespit edildiği gibi, her bir test düzeneğinin sönüm oranı yapılan ölçümlerden deneysel olarak tespit edilmiştir. Sönüm oranının tespiti için (4.28) bağıntısında verilen formül ile hesaplanmıştır.

Daha önce anlatıldığı gibi sönüm oranı sistemin hem kütlesine hem de rijitliğine bağlı bir özellik olduğu için her sistem için sönüm oranı ayrı ayrı hesaplanmış olup Tablo 7.1’de verilmiştir.

TESTLER	$j_{50} \%$	ζ
Test 1	8	0,011
Test 2	10	0,011
Test 3	5	0,022
Test 4	2	0,055

Tablo 7. 1 Testlere ait Sönüm Oranı Tablosu

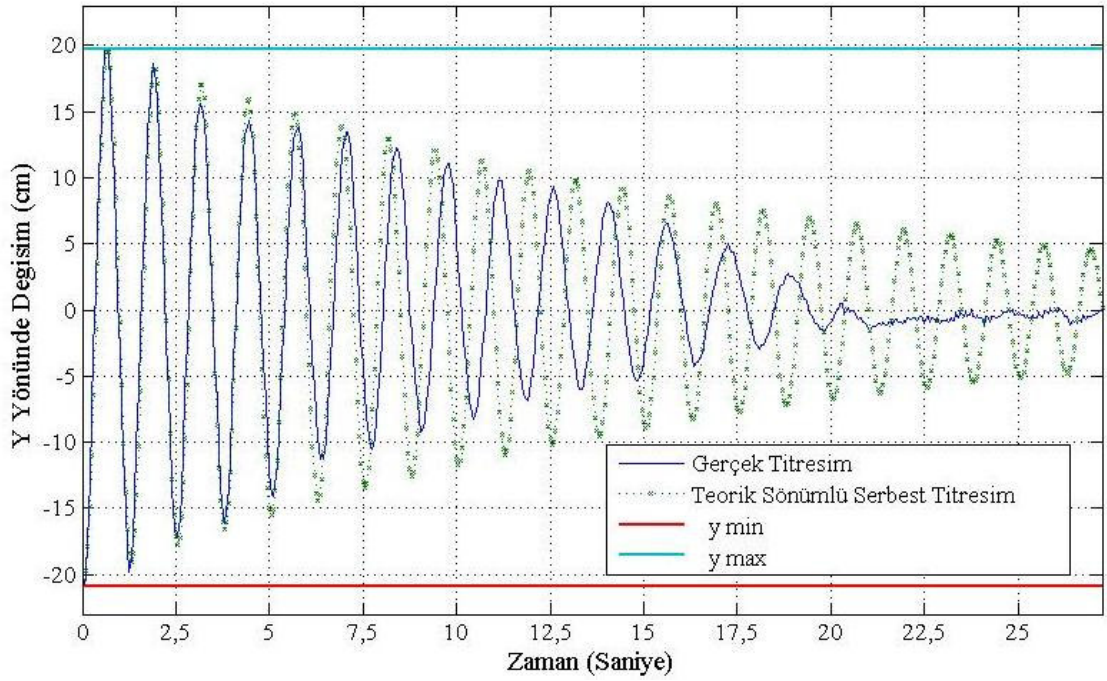
Yapılan 4 test sonucunda sistemlerin sönümlü doğal periyodu ile sönümsüz doğal periyodu ve sönümlü doğal frekansı ile sönümsüz sistemin doğal frekansı Tablo 7.2’de gösterilmiştir.

TESTLER	T_d	T_n	w_d	w_n	ζ
Test 1	1,25	1,25	5,02	5,02	0,011
Test 2	1,75	1,75	3,58	3,58	0,011
Test 3	2,90	2,90	2,17	2,17	0,022
Test 4	5,00	4,99	1,26	1,26	0,055

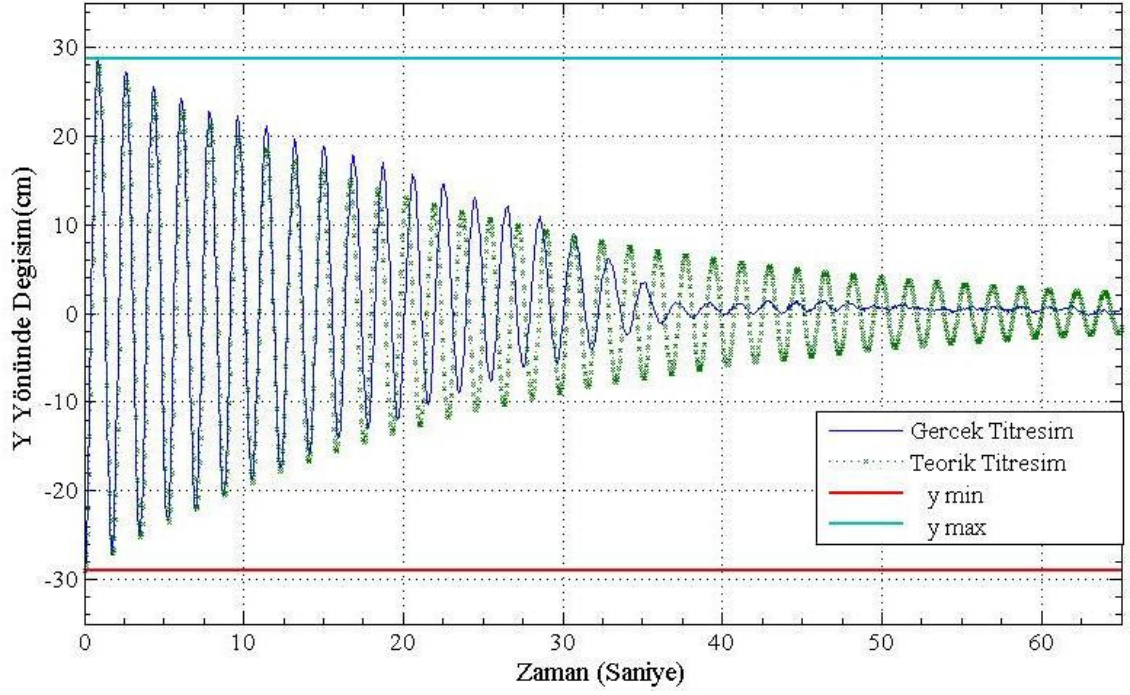
Tablo 7. 2 Testlere ait Periyod ve Frekans Tablosu

7.2 Gerçek Titreşim ile Teorik Sönümlü Serbest Titreşimin Karşılaştırmaları

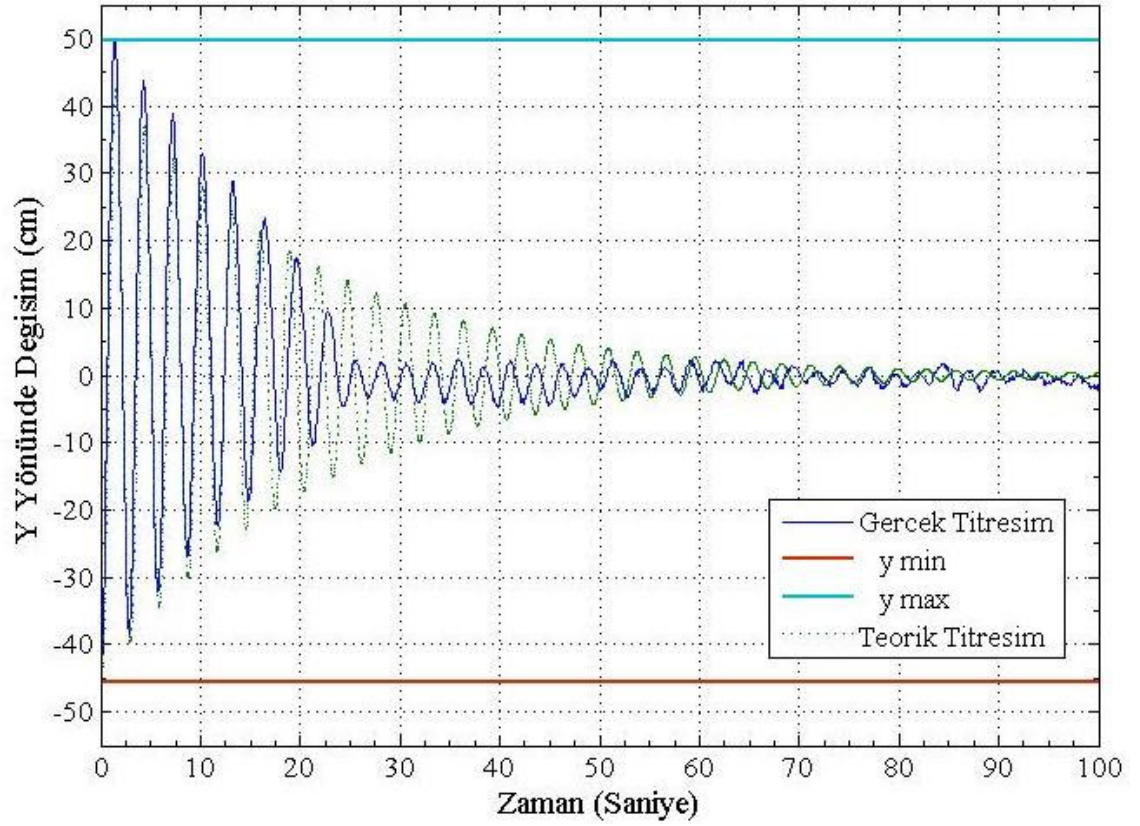
Prototipte oluşturulan modellerin yaptığı gerçek hareket sonuçları ile teorik olarak hesaplanan tek serbestlik dereceli sistemin sönümlü serbest titreşimlerinin karşılaştırmaları aşağıdaki yer alan Şekil 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 grafiklerinde verilmiştir.



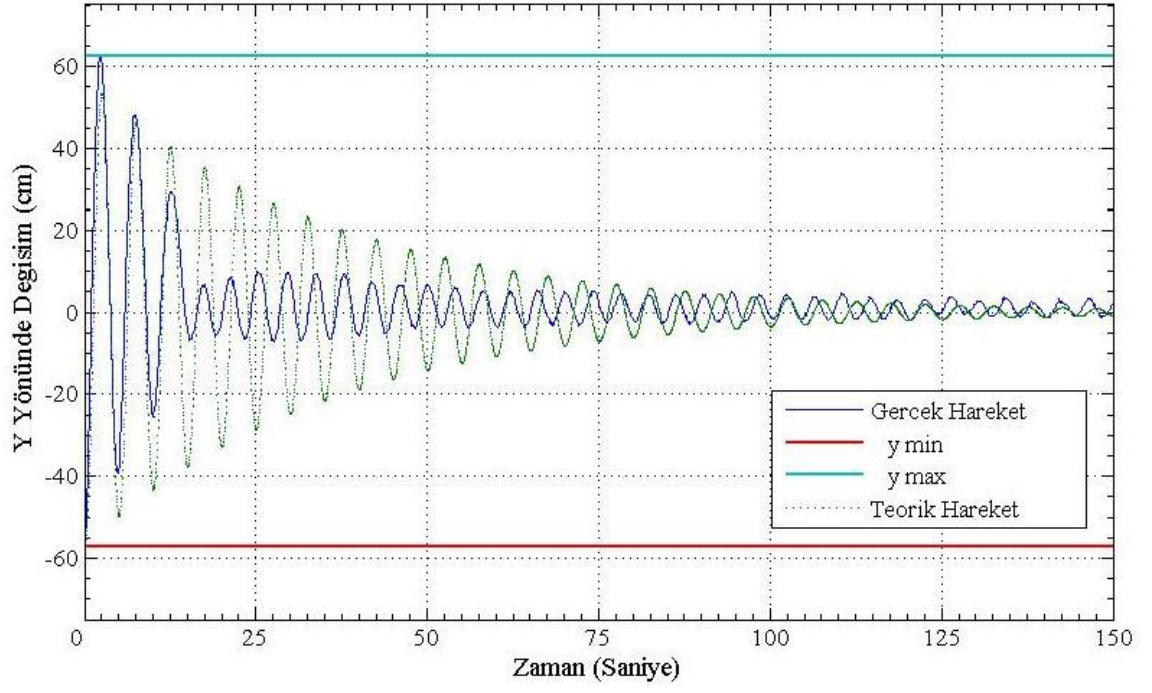
Şekil 7. 1 Gerçek ile Teorik Titreşim Hareketinin Karşılaştırılması (Test No:1)



Şekil 7. 2 Gerçek ile Teorik Titreşim Hareketinin Karşılaştırılması (Test No:2)



Şekil 7. 3 Gerçek ile Teorik Titreşim Hareketinin Karşılaştırılması (Test No:3)



Şekil 7. 4 Gerçek ile Teorik Titreşim Hareketinin Karşılaştırılması (Test No:4)

8. TARTIŞMA VE SONUÇ

Gerçek zamanlı DGPS ile yapıların yüksek yapıların dinamik davranışlarının izlenmesi öncesi teknik bir fizibilite olan bu çalışma ile GPS ile gerçek izlemenin hangi periyota sahip yapılarda ve hangi GPS kayıt hızında, doğru sonuç vereceğini araştırmak üzere bir model üzerinde teknik bir çalışma yapılmıştır.

Bir yapının gerçek zamanlı olarak hareketinin doğrudan izlenebilmesi için DGPS metodunun bir çeşidi olan ve faz gözlemlerini kullanan RTK GPS yönteminin kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle GPS aletlerinin çift frekanslı olması gerekmektedir. Yapının ve hareketin özelliklerinin sağlıklı olarak belirlenebilmesi için saniyede alınan kayıt hızının sayısının yüksek olması gerekmektedir. Çalışmamızda kullanılan ve saniyede 20 kayıt alan (Hz) GPS ile prototipin yaptığı hareket net olarak tespit edilmiştir.

Test düzeneğinde farklı yükseklikte ve farklı kütleler yüklenerek yapılan sönümlü serbest titreşim testlerinde ve teorik sonuçların deplasman - zaman grafiklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Grafikler incelendiğinde teorik ve deney sonuçlarının belirli bir süre içerisinde hem genliklerinin hem de periyotlarının uyum içinde olduğu görülmektedir. Gerçek hareket esnasında sistem tek düzlem boyunca hareketten uzaklaştığında yani hem x düzlemi hem de y düzleminde hareketine devam ettiği zamanda, deney sonuçları ile teorik sonuçlar farklı olmaktadır. Ancak tek düzlemde hareketin bozulup iki düzlemde harekete başlaması öncesindeki zamandaki hareket teorik sonuçlar ile uyum içerisindedir.

Titreşim periyodunun uyumu; prototipin ideale yakın bir hareket yaptığını ortaya koymaktadır. Yanal rijitliğin gerçek test sonuçlarından belirlenmesi de sistemin periyodunun uyumuna neden olmaktadır. Test prototipinin teorik yanal rijitliği ile gerçek yanal rijitliğinin farklı olmasının nedeni ise teorik mesnetlenme sınır şartlarının, prototipin gerçekteki sınır şartlarından farklı olmasıdır.

Prototipteki kütlelerin artırılması ile titreşimin periyodu artmakta ve sistemin salınım süresi uzamaktadır. Aynı şekilde prototipin yüksekliği artırıldığında

titreşimin periyodu artmaktadır. Sönüm oranı da sistemin kütlesine ve rijitliğine bağlı olarak her bir düzende farklı olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle küçük periyotlu ve düşük sönüm oranlı 1. ve 2. testlerde, titreşimin tamamen sönümlenmesine rağmen teorik sonuçlarda bir süre daha küçük genlikli titreşimlerin devam etmekte olduğu gözükmemektedir.

Sonuç olarak prototip, teorik sonuçlar hareketin teorik olarak kabul edilen yaptığı süreçte büyük bir uyum içerisindedir. Ancak sonuçların farklı çıktığı bölgelerde GPS ile yapılan gerçek zamanlı ölçümlerin tutarsızlığından kaynaklanmamış olup, prototipin yapısından kaynaklanmıştır. DGPS ile yapılan ölçümler sayesinde prototipin yanal rijitliği ve sönüm oranı gibi yapısal özelliklerinin belirlenmiştir.

RTK GPS ile doğal periyodu 1,25 – 5 sn aralığında olan test düzeneklerinde başarı ile çalışmış olması ve bu düzenek üzerindeki hassas hareket ve titreşimlerin tespit edilmesi nedeni ile yüksek yapıların DGPS ile gerçek zamanlı olarak izlenmesi doğru sonuçlar verecektir. Bu sayede özellikle deprem ve rüzgâr gibi dinamik etkilerde, GPS aleti yerleştirilen yapıların verdiği davranışın ve yapısal özelliklerinin doğru olarak belirlenmesi sağlanacaktır.

9. KAYNAKLAR

Erol,B., Çelik N.R., Presizyonlu Eğim Sensörlerinin Büyük Yapıların Hareketlerinin İzlenmesinde Kullanılması. Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Konya,2002

Cheng, P., Shi, W.J, Zheng,W., Large Structure Health Dynamic Monitoring Using Gps Technology, TS6.2 Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering II, Washington, D.C. USA, 2002

Lovse J.W., Tesky W.F., Lachapelle G., etc, (1995), Dynamic deformation monitoring of tall structure using GPS technology, Journal of Surveying Engineering, Vol. 121(1), 16~22

Celebi, M., Eeri, M., Sanli, A., (2002), “GPS in Pioneering Dynamic Monitoring of Long-Period Structures”, Earthquake Spectra, Volume 18, Earthquake Engineering Research Institute.

Li, X., Ge, L., Ambikairajah, E.,Rizos,C.,Tamura,Y.,Yoshida, A., Full-Scale Structural Monitoring Using an Integrated GPS and Accelerometer System, GPS Solut (2006) 10: 233–247

Park, HS, Sohn, H.G, Kim, I.L., Park,J.H., Application Of GPS To Monitoring Of Wind-Induced Responses Of High-Rise Buildings, The Structural Design Of Tall and Special Buildings,2007

Uluişik, P., Erkaya, H., Hoşbaş, R.G., Soycan, M., Akpınar, B., Aykut, N.O., Poyraz, F., 2.Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, (2005), İ.T.Ü. , İstanbul.

Eren, K., Uzel, T., (1995), “GPS Ölçmeleri” Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Parkinson, B., Spilker, J., (1996), “Global Positioning System: Theory & Applications (Volume I-II)”, Progress in Astronautics and Aeronautics.

Kaplan, E.D., (1996),”Undertstanding GPS Principles and Applications”, Artech House Boston, London

Hofmann, W.B., Lichtenegger, H., Collins, J., (1997) GPS Theory And Practice, Fourth Revised Edition, Springer –Verlag, Newyork.

Leick,A., (1990), GPS Satellite Surveying, John Wiley & Sons, Inc.

Langley, R.B., (1998) RTK GPS, GPS World, Vol.9, No.9.

Wells, D., Beck, N., Delikaraoğlu, D., Kleusberg, A., Krakiwsky., Lachapelle, g., Langley, R.B., Nakiboğlu, M., Schwarz, K.P., Tranquilla, J.M., Vanicek, P.,1987,"Guide to GPS Positioning", Canadian GPS Associates

Mekik, Ç., Arslanoğlu , Murat., (2003), Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Konumlarının Doğruluk Analizi ve Bir Örnek Uygulama, 9. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, syf: 549-558, Ankara, 2003

TS 500 Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, (2000), Ankara.

Akbaş, B. (2006), Yapı Dinamiği, Ders Notları.

Novatel OEM4 Family Installation and Operation User Manual Rev 13(Volume I-II) 1120 - 68 Avenue Ne,Calgary, Alberta, Canada,(2004)

Taşkın, Y. ve Yağız, N., (2005), Tek Serbestlik Dereceli Bir Titreşim Sisteminin Model Parametrelerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, İstanbul.

Celep, Z. ve Kumbasar, N., (2001), Yapı Dinamiği, Üçüncü Baskı, Beta Dağıtım, İstanbul.

Chopra, A., (2001), Dynamics of Structures, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey.

10. ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Gaziantep'te doğdu. Ortaokul ve lise eğitimini Gaziantep Anadolu Lisesi'nde yaptı. 1994-1995 yılları arasında kültürler arası öğrenci değişim programı olan AFS (American Field Service) ile 1 yıl Amerika Birleşik Devletleri Kaliforniya Eyaletinde Barstow High School'da öğrenim görerek liseden mezun oldu. 1995 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu.

Eylül 2000 yılında G.Y.T.E Mühendislik ve Fen Bilimleri Fakültesi Deprem ve Yapı Anabilim dalı'nda yüksek lisans programına başladı. 1999-2002 yılları arasında Cenofis Ltd.Sti firmasında İnşaat Mühendisi olarak görev aldıktan sonra askerlik görevini İzmir'de MSB İnşaat Emlak'ta tamamladı. 2003 yılından bugüne kadar Teknik Müşavirlik sektöründe yer alan UBM Uluslararası Birleşmiş Müşavirler A.Ş firmasında uzman inşaat mühendisi olarak çalışmakta olup altyapı ve üstyapı konularında dış finansmanlı uluslararası projelerde görev yapmaktadır.

11. EKLER

Ek 1 Toplam 4 adet teste ait GPS Verileri

Ek 2 Testlere ait düzenlenmiş Matlab Veri dosyaları

Ek 3 Testlerin düzenlenmiş Matlab Grafik dosyaları